

Docket No.: 61352-041

**PATENT**

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

In re Application of :

Hiroyuki FURUYA, et al. :

Serial No.: Continuation of Application No. :  
PCT/JP02/13350 :

Group Art Unit:

Filed: July 17, 2003 :

Examiner:

For: METHOD OF FABRICATING NITRIDE BASED SEMICONDUCTOR SUBSTRATE AND  
METHOD OF FABRICATING NITRIDE BASED SEMICONDUCTOR DEVICE

**CLAIM OF PRIORITY AND  
TRANSMITTAL OF CERTIFIED PRIORITY DOCUMENT**

Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

In accordance with the provisions of 35 U.S.C. 119, Applicants hereby claim the priority of:

**Japanese Patent Application No. 2001-387033, filed December 20, 2001**

cited in the Declaration of the present application. A certified copy is submitted herewith.

Respectfully submitted,

MCDERMOTT, WILL & EMERY

  
Michael E. Fogarty  
Registration No. 36,139

600 13<sup>th</sup> Street, N.W.  
Washington, DC 20005-3096  
(202) 756-8000 MEF:mlw  
Facsimile: (202) 756-8087  
**Date: July 17, 2003**

61352-041  
Hiraguchi: FURUYA et al.  
July 17, 2003

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

McDermott, Will & Emery

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日  
Date of Application:

2001年12月20日

出 願 番 号  
Application Number:

特願2001-387033

[ST.10/C]:

[JP2001-387033]

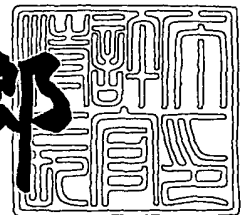
出 願 人  
Applicant(s):

松下電器産業株式会社

2003年 3月 7日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

太田 信一郎



出証番号 出証特2003-3014133

【書類名】 特許願

【整理番号】 2030230112

【提出日】 平成13年12月20日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01S 3/18

【発明者】

    【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器産業株式会社内

    【氏名】 古屋 博之

【発明者】

    【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器産業株式会社内

    【氏名】 横川 俊哉

【発明者】

    【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器産業株式会社内

    【氏名】 石橋 明彦

【発明者】

    【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器産業株式会社内

    【氏名】 長谷川 義晃

【特許出願人】

    【識別番号】 000005821

    【氏名又は名称】 松下電器産業株式会社

【代理人】

    【識別番号】 100097445

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 岩橋 文雄

【選任した代理人】

【識別番号】 100103355

【弁理士】

【氏名又は名称】 坂口 智康

【選任した代理人】

【識別番号】 100109667

【弁理士】

【氏名又は名称】 内藤 浩樹

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 011305

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9809938

【書類名】 明細書

【発明の名称】 窒化物系半導体装置及びその製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板上に第一の窒化物系結晶を堆積させた後、前記第一の窒化物系結晶をリッジ状に加工する工程と、リッジ側面とリセス底部とを非晶質絶縁膜で被覆する工程と、前記第一の窒化物系結晶の表面に露出した部分を種結晶として第二の窒化物系結晶による活性層構造を積層する工程と、前記リッジ側面・リセス底部・第二の窒化物半導体層により囲まれた空洞部分を有する構造を持ち、前記基板上に成長した種結晶部分と第二の窒化物系結晶との界面でこれらを分離する工程を有する窒化物系結晶基板上に形成した窒化物系半導体装置の製造方法。

【請求項 2】 基板上に第一の窒化物系結晶を堆積させた後、前記第一の窒化物系結晶をリッジ状に加工する工程と、リッジ側面とリセス底部とを非晶質絶縁膜で被覆する工程と、前記第一の窒化物系結晶の表面に露出した部分を種結晶として第二の窒化物系結晶による活性層構造を積層する工程と、前記リッジ側面・リセス底部・第二の窒化物半導体層により囲まれた空洞部分を有する構造を持ち、前記基板上に成長した種結晶部分と第二の窒化物系結晶との界面でこれらを分離する工程を有する窒化物系結晶基板の製造方法。

【請求項 3】 熱的アニールにより窒化物系結晶層を基板から分離させる工程を有する請求項 1 に記載の窒化物系半導体装置の製造方法。

【請求項 4】 熱的アニールにより窒化物系結晶層を基板から分離させる工程を有する請求項 2 に記載の窒化物系半導体基板の製造方法。

【請求項 5】 第二の窒化物系結晶層にレーザ光を照射することにより第二の半導体層を基板から分離させる工程を有する請求項 1 に記載の窒化物系半導体装置の製造方法。

【請求項 6】 第二の窒化物系結晶層にレーザ光を照射することにより第二の半導体層を基板から分離させる工程を有する請求項 2 に記載の窒化物系半導体基板の製造方法。

【請求項 7】 熱的アニールとレーザ光照射の組み合わせにより第二の窒化物系

結晶層を基板から分離させる工程を有する請求項1に記載の窒化物系半導体装置の製造方法。

【請求項8】 熱的アニールとレーザ光照射の組み合わせにより第二の窒化物系結晶層を基板から分離させる工程を有する請求項2に記載の窒化物系半導体基板の製造方法。

【請求項9】 基板上に第一の窒化物系結晶を堆積させた後、前記第一の窒化物系結晶をリッジ状に加工する工程と、リッジ側面とリセス底部とを非晶質絶縁膜で被覆する工程と、前記窒化物系結晶の表面に露出した部分を種結晶として第二の窒化物系窒化物半導体層を積層する工程と、第二の窒化物系窒化物半導体層を種結晶として、第三の窒化物系窒化物半導体層活性層構造を積層する工程と、前記リッジ側面・リセス底部・第三の窒化物半導体層により囲まれた空洞部分を有する構造を持ち、前記第二の窒化物系窒化物半導体層部分を分離層として前記基板と第三の窒化物半導体層活性層部分とを分離する工程を有する窒化物系結晶基板上に形成した窒化物系半導体装置の製造方法。

【請求項10】 基板上に第一の窒化物系結晶を堆積させた後、前記第一の窒化物系結晶をリッジ状に加工する工程と、リッジ側面とリセス底部とを非晶質絶縁膜で被覆する工程と、前記窒化物系結晶の表面に露出した部分を種結晶として第二の窒化物半導体層を積層する工程と、第二の窒化物系半導体層を種結晶として、第三の窒化物系半導体層活性層構造を積層する工程と、前記リッジ側面・リセス底部・第三の窒化物半導体層により囲まれた空洞部分を有する構造を持ち、前記第二の窒化物系半導体層部分を分離層として前記基板と第三の窒化物系半導体層活性層部分とを分離する工程を有する窒化物系結晶基板の製造方法。

【請求項11】 第二の半導体層が少なくともAs原子を含む窒化物系窒化物で構成されていることを特徴とする請求項9に記載の窒化物系半導体装置の製造方法。

【請求項12】 第二の半導体層が少なくともAs原子を含む窒化物系窒化物で構成されていることを特徴とする請求項10に記載の窒化物系半導体基板の製造方法。

【請求項13】 第二の半導体層が少なくともIn原子を含む窒化物系窒化物で

構成されていることを特徴とする請求項 9 に記載の窒化物系半導体装置の製造方法。

【請求項 1 4】第二の半導体層が少なくとも I n 原子を含む窒化物系窒化物で構成されていることを特徴とする請求項 1 0 に記載の窒化物系半導体基板の製造方法。

【請求項 1 5】第二の半導体層が少なくとも P 原子を含む窒化物系窒化物で構成されていることを特徴とする請求項 9 に記載の窒化物系半導体装置の製造方法。

【請求項 1 6】第二の半導体層が少なくとも P 原子を含む窒化物系窒化物で構成されていることを特徴とする請求項 1 0 に記載の窒化物系半導体基板の製造方法。

【請求項 1 7】熱的アニールにより第三の半導体層を基板から分離させる工程を有する請求項 9 に記載の窒化物系半導体装置の製造方法。

【請求項 1 8】熱的アニールにより第三の半導体層を基板から分離させる工程を有する請求項 1 0 に記載の窒化物系半導体基板の製造方法。

【請求項 1 9】第二の半導体層にレーザ光を照射することにより第三の半導体層を基板から分離させる工程を有する請求項 9 に記載の窒化物系半導体装置の製造方法。

【請求項 2 0】第二の半導体層にレーザ光を照射することにより第三の半導体層を基板から分離させる工程を有する請求項 1 0 に記載の窒化物系半導体基板の製造方法。

【請求項 2 1】熱的アニールとレーザ光照射の組み合わせにより第三の半導体層を基板から分離させる工程を有する請求項 9 に記載の窒化物系半導体装置の製造方法。

【請求項 2 2】熱的アニールとレーザ光照射の組み合わせにより第三の半導体層を基板から分離させる工程を有する請求項 1 0 に記載の窒化物系半導体基板の製造方法。

【請求項 2 3】非晶質絶縁膜が  $\text{SiN}_x$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{SiON}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{AlN}$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{ZrO}_2$ 、 $\text{Nb}_2\text{O}_5$  のいずれかであることを特徴とする請求項 1 ま

たは 9 に記載の窒化物系半導体装置の製造方法。

【請求項 2 4】非晶質絶縁膜が  $\text{SiN}_x$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{SiON}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{AlN}$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{ZrO}_2$ 、 $\text{Nb}_2\text{O}_5$  のいずれかであることを特徴とする請求項 2 または 1 0 に記載の窒化物系半導体基板の製造方法。

【請求項 2 5】種結晶部分に照射するレーザ光の波長が  $550\text{nm} \sim 190\text{nm}$  の間であることを特徴とする請求項 5, 7, 19, 21 のいずれかに記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 2 6】種結晶部分に照射するレーザ光の波長が  $550\text{nm} \sim 190\text{nm}$  の間であることを特徴とする請求項 6, 8, 20, 22 のいずれかに記載の半導体基板の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は光情報処理分野や大容量無線通信分野などでの応用が期待されている窒化物系半導体レーザ装置などの窒化物系半導体発光素子および窒化物系半導体を用いた HEMT、電界効果トランジスタなどの窒化物系半導体素子に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

V 族元素に窒素 (N) を有する窒化物系半導体は、そのバンドギャップの大きさから、短波長発光素子及び高出力半導体回路の材料として有望視されている。中でも窒化ガリウム系化合物半導体 (GaN 系半導体:  $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$  ( $0 \leq x, y, z \leq 1, x + y + z = 1$ )) は盛んに研究が行われ、青色発光ダイオード (LED)、緑色 LED が実用化されている。また、光ディスク装置の大容量化のために、 $400\text{nm}$  帯に発振波長を有する半導体レーザが注目され現在では実用レベルに達しつつある。

【0003】

図 1 7 はレーザ発振が達成されている GaN 系半導体レーザの構造断面図 (概略図) である。サファイア基板 1 7 0 1 上に有機金属気層成長法 (MOVPE 法



）によりGa<sub>1-x</sub>In<sub>x</sub>Nバッファ層1702、n-GaN層1703、n-AlGa<sub>1-y</sub>Nクラッド層1704、n-GaN光ガイド層1705、Ga<sub>1-x</sub>In<sub>x</sub>N/Ga<sub>1-y</sub>In<sub>y</sub>N（0<y<x<1）からなる多重量子井戸（MQW）活性層1706、p-GaN光ガイド層1707、p-AlGa<sub>1-y</sub>Nクラッド層1708、p-GaNコンタクト層1709が成長される。そして、p-GaNコンタクト層1709上に3μm程度の幅のリッジストライプが形成され、その両側はSiO<sub>2</sub>1711などの絶縁膜によって埋め込まれる。その後リッジストライプ及びSiO<sub>2</sub>1711上にたとえばNi/Auからなるp電極1710、また一部をn-GaN層1703が露出するまでエッチングした表面にたとえばTi/Alからなるn電極1712が形成される。

## 【0004】

本素子においてn電極1712を接地し、p電極1710に順方向の電圧を印加すると、MQW活性層1706に向かってp電極1710側からホールが、またn電極1712側から電子が注入され、前記MQW活性層1706内で光学利得を生じ、発振波長400nm帯のレーザ発振を起こす。MQW活性層1706の材料であるGa<sub>1-x</sub>In<sub>x</sub>N/Ga<sub>1-y</sub>In<sub>y</sub>N薄膜の組成や膜厚によって発振波長は変化する。現在、室温以上での連続発振が実現されている。また、これらの技術を応用した高出力半導体回路の研究も行われており、無線通信用半導体素子などの応用分野で実現が期待されている。

## 【0005】

GaN系結晶を成長させるための基板としては、サファイア、SiC、Siなどが用いられるが、いずれの基板もGaNと格子整合せず、結晶成長が困難となる。このため、転位（刃状転位、らせん転位、混合転位）が多く、例えばサファイア基板やSiC基板を用いた場合、約 $1 \times 10^9 \text{ cm}^{-2}$ の転位が存在する。その結果、半導体レーザの閾値電流の増大や信頼性低下を引き起こす。

## 【0006】

公知文献である第1の論文「Journal of Material Research, Vol. 14 (1999) pp. 2716-2731」では、転位密度低減の方法として選択横方向成長（ELOG）が提案されている。こ

れは格子不整合が大きな系において、貫通転位を低減させる方法として有効である。

#### 【0007】

図18は、このELOGによって形成したGa<sub>2</sub>N結晶について、模式的に示したものである。まず、サファイア基板1801上にMOVPE法などによりGa<sub>2</sub>N結晶1802を形成する。SiO<sub>2</sub>1803をCVD法などで形成した後、フォトリソグラフィーとエッチングによってストライプ状にSiO<sub>2</sub>1803を加工する。Ga<sub>2</sub>N1802の露出した部分を種結晶として選択成長によってGa<sub>2</sub>N層1804を堆積する。成長方法として、MOVPE法やハイドライド気層成長法（HVPE法）を用いる。種結晶の上部は約 $1 \times 10^9 \text{ cm}^{-2}$ と転位の多い領域1806が存在するが、横方向成長した部分は転位密度が $1 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ 程度まで低減できている。そして、この転位の少ない領域1805の上部に活性領域を形成することで信頼性を向上させようとしている。

#### 【0008】

一方、最近になって、Ga<sub>2</sub>N基板を作製する研究が盛んになっている。

#### 【0009】

公知文献である第2の論文「Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 37 (1998) pp. L309-L312」では、サファイア基板上に成長したGa<sub>2</sub>N結晶においてサファイア基板を研磨で削除する方法でGa<sub>2</sub>N基板を得ることが示されている。また、第3の論文「Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 38 (1999) pp. L217-L219」では、Nd:YAGレーザの第3高調波（波長355nm）を利用したレーザを照射することにより、サファイア基板付近でGa<sub>2</sub>N結晶を分離（リフトオフ）できることが示されている。これは、サファイア基板付近のGa<sub>2</sub>N結晶が低品質でキャリア濃度が高いことが原因であるとされている。

#### 【0010】

しかしながら、上記第2、第3の論文では、サファイアとGa<sub>2</sub>Nの熱膨張係数差により、サファイア基板からGa<sub>2</sub>N層を分離する際にGa<sub>2</sub>N層にクラックが多

数発生し、2 インチウエハーレベルの大面積 G a N 基板が得られないのが現状である。さらに、上記第 2、第 3 の論文では、サファイア基板と G a N 層の分離の制御性に欠ける問題がある。

## 【 0 0 1 1 】

## 【発明が解決しようとする課題】

ところが、この半導体装置はサファイア基板の格子定数とその上に成長させた G a N 系結晶の格子定数との差が大きく、G a N 系結晶側に応力がかかる構造となっている。そのため、電気的特性が低下し、歩留まりや生産性などの信頼性を低下させる原因となっており、G a N 系結晶基板上に素子を形成することが必要となっている。

## 【 0 0 1 2 】

そこで本発明では、サファイア基板と G a N 層の分離の制御性に優れ、G a N 基板の結晶性を維持したまま、大面積の G a N 基板が作製できるようにすることを目的としている。

## 【 0 0 1 3 】

## 【課題を解決するための手段】

本発明に係る半導体の製造方法は、前記の目的を達成し、サファイア基板と G a N 系半導体層の間に、前記 G a N 系半導体層よりもバンドギャップエネルギーの小さい半導体層を積層させる工程を備えている。この半導体の製造方法によると、G a N 系半導体層よりもバンドギャップの小さい半導体層は 3 元及び 4 元混晶であり、その格子不整合度が大きいために組成が不均一になり相分離がしやすい。相分離を起した半導体層は結晶性が低下し、欠陥及びボイド（穴）が多数発生して、その上面にかかる応力を緩和しやすい。このため、相分離を起した半導体層は熱エネルギーや光エネルギーにより劣化されやすくなり、熱的アニール、レーザ光照射により相分離を起した半導体層のみが選択的に制御性よく除去され、基板と上面の G a N 系半導体層を分離することが可能になる。

## 【 0 0 1 4 】

しかし、このようなバンドギャップエネルギーの小さな半導体層（基板分離層）を基板全面に設けた方法では、G a N 系半導体層を一様に分離することが困難

であった。

【0015】

そこで、基板分離層としてこのようなバンドギャップエネルギーの小さな半導体層をストライプ状に設けることでサファイア基板とGaN結晶との接合面積を減少させ、ストライプ部分を熱的アニール及びレーザ光照射することで、GaN結晶部分をレーザ光で劣化させることなく、より均一に基板と半導体層を分離することが可能となる。

【0016】

また、この際サファイア基板上のGaN系半導体層に加わる圧縮歪は、相分離を起した半導体層が緩和するために、基板から分離したGaN系半導体層にはクラックの発生はなく、GaN基板の大面积化が可能である。

【0017】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態について図面を用いて詳細に説明する。なお、本発明の製造方法は、窒化物半導体の成長方法はMOVPE法に限定するものではなく、HVPE法、CVD法など、窒化物半導体層を成長させるためにこれまで提案されているすべての方法に適用可能である。

【0018】

(実施例1)

本発明に係る第1の実施形態は、おもに半導体装置に用いられるGaN系半導体結晶において、転位密度及び熱歪み・格子歪みを低減できるGaN基板の大面积化を実現できるようにすることを目的とする。

【0019】

以下、本発明の第1の実施形態による半導体の製造方法の詳細について図面を参照しながら説明する。なお、図面の寸法は実際の場合と必ずしも一致していない。

【0020】

図1は本実施形態に係る半導体の製造方法における工程順の構成断面図を示している。このレーザの作成方法を工程順に図2(a)～(e)に示す。まず、サ

ファイアより成る基板101の表面を酸溶液により洗浄する。その後、洗浄した基板101をMOVPE装置の反応炉内のサセプタに保持し、反応炉を真空排気する。続いて、反応炉内を圧力が300 Torr (1Torr=133.322Pa) の水素雰囲気とし、温度を約1100℃まで昇温して基板101を加熱し表面のサーマルクリーニングを約10分間おこなう。

## 【0021】

次に反応炉を約500℃にまで降温した後、基板101上に、供給量25 mmol/minのトリメチルガリウム (TMG) と供給量が7.5 L/minのアンモニア (NH<sub>3</sub>) ガスと、キャリアガスとして水素とを同時に供給することにより、厚さが20 nmのGaNよりなる低温バッファ層を成長させる。

## 【0022】

その後、1020℃まで昇温させ、TMGとNH<sub>3</sub>とを供給し、GaN層102を堆積する(図2(a))。このとき表面はC面になっている。

## 【0023】

次に、フォトリソグラフィ技術、ドライエッチング技術を用いてGaN層102をリセス状(凹状)に加工し、周期的なリッジストライプを形成する。そして、ECRスパッタなどの絶縁膜堆積技術を用いてリッジ形状の側面とリセス底面に非晶質絶縁膜であるSiN<sub>x</sub>103(厚さ10 nm)を堆積する(図2(b))。

## 【0024】

このときリッジストライプの周期は16 μm、リッジ部の幅は4 μmである。また、ストライプの方向はGaNの<1-100>方向である。

## 【0025】

リッジの頂上に露出したGaN層102のC面を種結晶として減圧MOVPE法によってエアギャップ104、n-Al<sub>0.03</sub>Ga<sub>0.97</sub>N層105(厚さ2 μm)、n-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N/n-GaN超格子コンタクト層106(厚さ2 μm)、n-Al<sub>0.03</sub>GaN<sub>0.97</sub>N層107(厚さ0.5 μm)を順次堆積する(図2(c))。n-Al<sub>0.03</sub>Ga<sub>0.97</sub>N層105はエアギャップ104の中央部付近で合体し合体部201を形成している。

## 【0026】

次に、 $n\text{-AlGa}\text{N}$ クラッド層107をリセス状（凹状）に加工し、周期的なリッジストライプを形成する。この時、エッチングが $n\text{-Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ / $n\text{-Ga}\text{N}$ 超格子コンタクト層106まで至ってもかまわない。そしてリッジ形状の側面とリセス底面に $\text{SiN}_x$ 108（厚さ10nm）を堆積する（図2（d））。この時リッジストライプの周期は $16\mu\text{m}$ 、リッジ部は幅約 $3\mu\text{m}$ である。また、約 $3\mu\text{m}$ のリッジ部はエアギャップ104上部の貫通転位が少ない領域で形成されている。

## 【0027】

リッジの頂上に露出した $n\text{-Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ クラッド層107のC面を種結晶として減圧MOVPE法によってエアギャップ109、 $n\text{-Ga}\text{N}$ 光ガイド層110（厚さ $0.2\mu\text{m}$ ）、多重量子井戸（MQW）活性層111、 $p\text{-Ga}\text{N}$ 光ガイド層112（厚さ $0.1\mu\text{m}$ ）、 $p\text{-Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ クラッド層113（厚さ $2\mu\text{m}$ ）、 $p\text{-Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ クラッド層113はエアギャップ109の中央部付近で合体している。

## 【0028】

その後、 $p\text{-Ga}\text{N}$ 層114上にp電極115を堆積し、p電極115と $p\text{-Ga}\text{N}$ 層114、 $p\text{-AlGa}\text{N}$ クラッド層113を幅 $5\mu\text{m}$ 程度のリッジ状に加工する。露出した $p\text{-Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ クラッド層に113上は $\text{SiO}_2$ などの絶縁膜116を被覆し、電流狭窄構造を形成する。絶縁膜116の形成方法は、ECRスパッタを用いている。p電極115と絶縁膜116上には $5\mu\text{m}$ のAuからなる配線電極118が形成されている。

## 【0029】

その後、サファイア基板101の裏面より $n\text{-Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ 105の種結晶となっているGa $\text{N}$ 層102部分の全部もしくは一部に紫外レーザー光202（Nd:YAGレーザー第3高調波（波長 $355\text{nm}$ ））を照射し、種結晶部分を光化学的に劣化させ基板と成長させたGa $\text{N}$ 系結晶を分離する。

## 【0030】

このようにして図2（e）に示される半導体レーザーを作製することができる。

## 【 0 0 3 1 】

レーザを用いて、サファイア基板 1 0 1 と成長させた G a N 系結晶を分離する工程の前段階として以下の方法で熱的アニールを施すと基板と G a N 系結晶を分離する工程が効果的に実施できる。

## 【 0 0 3 2 】

まず、結晶成長後の基板を開管石英管に搬送し、窒素雰囲気中にて約 1 0 0 0 °C で 6 時間の熱的アニールを施す。アニール温度は G a N 層からの窒素原子抜け等のダメージを考慮すると 1 2 0 0 °C までが望ましい。

## 【 0 0 3 3 】

また、レーザを用いたサファイア基板 1 0 1 と成長させた G a N 系結晶を分離する工程において、レーザ光の波長は 4 0 0 n m ~ 1 5 0 n m の範囲であること望ましく、照射するレーザビームのフォーカス位置はビームウエストが  $n - A l_{0.03} G a_{0.97} N_{1.05}$  の種結晶付近となっている G a N 層 1 0 2 部分とし、 $n - A l_{0.03} G a_{0.97} N_{1.05}$  の種結晶となっている G a N 層 1 0 2 部分でレーザ光のエネルギー密度を急激に大きくして行う方が望ましい。

## 【 0 0 3 4 】

また、加工用のレーザビームの走査方法としておおまかに、①ガルバノミラーと  $f - \theta$  レンズの組み合わせ、もしくは②ポリゴンミラーと  $f - \theta$  レンズの組み合わせ、あるいは③  $x - y$  ステージによる移動の 3 つの方法が考えられるが、ビームのフォーカス位置を正確に保持するためには③  $x - y$  ステージを移動する方法で走査したほうが望ましい。走査する方向はストライプの方向つまり G a N の  $\langle 1 - 1 0 0 \rangle$  方向であることが望ましい。

## 【 0 0 3 5 】

基板 1 0 1 と窒化物結晶 1 0 5 を分離する工程において、リッジ側面とリセス底部及び再成長結晶で囲まれたエアギャップ部分が存在することにより、再成長した窒化物系結晶が基板に癒着することがほとんどないため、従来例と比較しても容易に分離が可能で、分離後の窒化物系結晶の品質も高い。

## 【 0 0 3 6 】

なお、周期的なリッジストライプに代わって、周期的な格子上のリッジを設け

た場合でも同様の効果が得られる。

【 0 0 3 7 】

もちろん、これらの発明は以上の例に限定されるものではなく、細部については様々な態様が可能であることは言うまでもない。

【 0 0 3 8 】

(実施例 2)

本発明に係る第 2 の実施形態は、おもに半導体装置に用いられる GaN 系半導体結晶において、転位密度及び熱歪み・格子歪みを低減できる GaN 基板の大面积化を実現できるようにすることを目的とする。

【 0 0 3 9 】

以下、本発明の第 2 の実施形態による半導体の製造方法の詳細について図面を参照しながら説明する。なお、図面の寸法は実際の場合と必ずしも一致していない。

【 0 0 4 0 】

図 3 は本実施形態に係る半導体の製造方法における工程順の構成断面図を示している。この基板の作成方法を工程順に図 4 (a) ~ (d) に示す。

【 0 0 4 1 】

図 3 に示すレーザの作成方法は以下のとおりである。まず、サファイアより成る基板 301 の表面を酸溶液により洗浄する。その後、洗浄した基板 301 を MOVPE 装置の反応炉内のサセプタに保持し、反応炉を真空排気する。続いて、反応炉内を圧力が 300 Torr の水素雰囲気とし、温度を約 1100℃ まで昇温して基板 301 を加熱し表面のサーマルクリーニングを約 10 分間おこなう。

【 0 0 4 2 】

次に反応炉を約 500℃ にまで降温した後、基板 301 上に、供給量 25 mmol/min のトリメチルガリウム (TMG) と供給量が 7.5 L/min のアンモニア (NH<sub>3</sub>) ガスと、キャリアガスとして水素とを同時に供給することにより、厚さが 20 nm の GaN よりなる低温バッファ層を成長させる。その後、1020℃ まで昇温させ、TMG と NH<sub>3</sub> とを供給し、GaN 層 302 を堆積する (図 4 (a))。このとき表面は C 面になっている。



## 【0043】

次に、フォトリソグラフィ技術、ドライエッチング技術を用いてGaN層302をリセス状（凹状）に加工し、周期的なリッジストライプを形成する。そして、ECRスパッタなどの絶縁膜堆積技術を用いてリッジ形状の側面とリセス底面に非晶質絶縁膜である $\text{SiN}_x$ 303（厚さ10nm）を堆積する（図4（b））。

## 【0044】

このときリッジストライプの周期は16 $\mu\text{m}$ 、リッジ部の幅は4 $\mu\text{m}$ である。また、ストライプの方向はGaNの $\langle 1-100 \rangle$ 方向である。

## 【0045】

リッジの頂上に露出したGaN層302のC面を種結晶として減圧MOVPE法によってエアギャップ304、GaN系半導体層305を堆積する（図4（c））。GaN系半導体層305はエアギャップ304の中央部付近で合体し合体部401を形成している。

## 【0046】

その後、サファイア基板301の裏面より $n\text{-Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ 305の種結晶となっているGaN層302部分の全部もしくは一部に紫外レーザー光402（Nd:YAGレーザー第3高調波（波長355nm））を照射し、種結晶部分を光化学的に劣化させ基板と成長させたGaN系結晶を分離する。

## 【0047】

このようにして図4（d）に示されるGaN系半導体基板を作製することができる。

## 【0048】

レーザーを用いて、サファイア基板301と成長させたGaN系結晶を分離する工程の前段階として以下の方法で熱的アニールを施すと基板とGaN系結晶を分離する工程が効果的に実施できる。

## 【0049】

まず、結晶成長後の基板を開管石英管に搬送し、窒素雰囲気中にて約1000℃で6時間の熱的アニールを施す。アニール温度はGaN層からの窒素原子抜け

等のダメージを考慮すると1200℃までが望ましい。

【0050】

また、レーザを用いて、サファイア基板301と成長させたGaN系結晶を分離する工程において、レーザ光の波長は400nm～150nmの範囲であることが望ましく、照射するレーザビームのフォーカス位置はビームウエストがGaN系結晶305の種結晶付近となっているGaN層302部分とし、GaN系結晶305の種結晶となっているGaN層302部分でレーザ光のエネルギー密度を急激に大きくして行う方が望ましい。

【0051】

また、加工用のレーザビームの走査方法としておおまかに、①ガルバノミラーとf-θレンズの組み合わせ、もしくは②ポリゴンミラーとf-θレンズの組み合わせ、あるいは③x-yステージによる移動の3つの方法が考えられるが、ビームのフォーカス位置を正確に保持するためには、③x-yステージを移動する方法で走査したほうが望ましい。走査する方向はストライプの方向つまりGaNの<1-100>方向であることが望ましい。

【0052】

基板301と窒化物結晶305を分離する工程において、リッジ側面とリセス底部及び再成長結晶で囲まれたエアギャップ部分が存在することにより、再成長した窒化物系結晶が基板に癒着することがほとんどないため、従来例と比較しても容易に分離が可能で、分離後の窒化物系結晶の品質も高い。

【0053】

なお、周期的なリッジストライプに代わって、周期的な格子上のリッジを設けた場合でも同様の効果が得られる。

【0054】

もちろん、これらの発明は以上の例に限定されるものではなく、細部については様々な態様が可能であることはいうまでもない。

【0055】

(実施例3)

本発明に係る第3の実施形態は、おもに半導体装置に用いられるGaN系半導

体結晶において、転位密度及び熱歪み・格子歪みを低減できるGaN基板の大面积積化を実現できるようにすることを目的とする。

#### 【0056】

以下、本発明の第3の実施形態による半導体の製造方法の詳細について図面を参照しながら説明する。なお、図面の寸法は実際の場合と必ずしも一致していない。

#### 【0057】

図5は本実施形態に係る半導体の製造方法における工程順の構成断面図を示している。このレーザの作成方法を工程順に図6(a)～(e)に示す。まず、サファイアより成る基板501の表面を酸溶液により洗浄する。その後、洗浄した基板501をMOVPE装置の反応炉内のサセプタに保持し、反応炉を真空排気する。続いて、反応炉内を圧力が300 Torrの水素雰囲気とし、温度を約1100℃まで昇温して基板501を加熱し表面のサーマルクリーニングを約10分間おこなう。

#### 【0058】

次に反応炉を約500℃にまで降温した後、基板501上に、供給量25 mmol/minのトリメチルガリウム(TMG)と供給量が7.5 L/minのアンモニア(NH<sub>3</sub>)ガスと、キャリアガスとして水素とを同時に供給することにより、厚さが20 nmのGaNよりなる低温バッファ層を成長させる。

#### 【0059】

その後、1000℃まで昇温させ、TMGとNH<sub>3</sub>とを供給し、GaN層502を堆積する。続いて、反応炉を約1000℃にまで昇温し、NH<sub>3</sub>、アルシンおよびTMGを供給して厚さが約100 nmのGaN<sub>0.96</sub>As<sub>0.04</sub>よりなる基板分離層503を成長させる。このとき表面はC面になっている(図6(a))。この基板分離層503は相分離を起しやすい窒化物半導体層であり、熱エネルギーや光エネルギーにより劣化されやすくなり、基板と再成長した半導体層との分離を容易にする効果がある。

#### 【0060】

次に、フォトリソグラフィ技術、ドライエッチング技術を用いてGaN層5

02および503をリセス状（凹状）に加工し、周期的なリッジストライプを形成する。そして、ECRスパッタなどの絶縁膜堆積技術を用いてリッジ形状の側面とリセス底面に非晶質絶縁膜である $\text{SiN}_x$ 504（厚さ10nm）を堆積する（図6（b））。

#### 【0061】

このときリッジストライプの周期は $16\mu\text{m}$ 、リッジ部の幅は $4\mu\text{m}$ である。また、ストライプの方向はGa $\text{N}$ の $\langle 1-100 \rangle$ 方向である。

#### 【0062】

リッジの頂上に露出したGa $\text{N}$ 層のC面を種結晶として減圧MOVPE法によってエアギャップ505、 $\text{n-Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ 層（厚さ $2\mu\text{m}$ ）506、 $\text{n-Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ ／ $\text{n-GaN}$ 超格子コンタクト層（厚さ $2\mu\text{m}$ ）、 $\text{n-Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ 層（厚さ $0.5\mu\text{m}$ ）を順次堆積する（図6（c））。 $\text{n-Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ 層506はエアギャップ505の中央部付近で合体し合体部601を形成している。

#### 【0063】

次に、 $\text{n-AlGa}\text{N}$ クラッド層507をリセス状（凹状）に加工し、周期的なリッジストライプを形成する。この時、エッチングが $\text{n-Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ ／ $\text{n-GaN}$ 超格子コンタクト層まで至ってもかまわない。そしてリッジ形状の側面とリセス底面に $\text{SiN}_x$ 508（厚さ10nm）を堆積する（図6（d））。この時リッジストライプの周期は $16\mu\text{m}$ 、リッジ部は幅約幅 $3\mu\text{m}$ である。また、約 $3\mu\text{m}$ のリッジ部はエアギャップ604上部の貫通転位が少ない領域で形成されている。

#### 【0064】

リッジの頂上に露出した $\text{n-Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ クラッド層507のC面を種結晶として減圧MOVPE法によってエアギャップ509、 $\text{n-GaN}$ 光ガイド層510（厚さ $0.2\mu\text{m}$ ）、多重量子井戸（MQW）活性層511、 $\text{p-GaN}$ 光ガイド層512（厚さ $0.1\mu\text{m}$ ）、 $\text{p-Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ クラッド層513（厚さ $2\mu\text{m}$ ）、 $\text{p-Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ クラッド層513はエアギャップ509の中央部付近で合体している。

## 【0065】

その後、p-GaN層514上にp電極515を堆積し、p電極515とp-GaN層514、p-AlGa<sub>0.07</sub>Nクラッド層513を幅5 $\mu$ m程度のリッジ状に加工する。露出したp-Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層に513上はSiO<sub>2</sub>などの絶縁膜516を被覆し、電流狭窄構造を形成する。絶縁膜516の形成方法は、ECRスパッタを用いている。p電極515と絶縁膜516上には5 $\mu$ mのAuからなる配線電極518が形成されている。

## 【0066】

その後、サファイア基板501の裏面よりn-Al<sub>0.03</sub>Ga<sub>0.97</sub>N506の種結晶となっている基板分離層503部分の全部もしくは一部に紫外レーザー光602(Nd:YAGレーザー第3高調波(波長355nm))を照射し、種結晶部分を光化学的に劣化させ基板と成長させたGaN系結晶を分離する。

## 【0067】

このようにして図6(e)に示される半導体レーザーを作製することができる。

## 【0068】

レーザーを用いて、サファイア基板501と成長させたGaN系結晶を分離する工程の前段階として以下の方法で熱的アニールを施すと基板とGaN系結晶を分離する工程がより効果的に実施できる。結晶成長後の基板を開管石英管に搬送し、窒素雰囲気中にて約1000℃で6時間の熱的アニールを施す。アニール温度はGaN層からの窒素原子抜け等のダメージを考慮すると1200℃までが望ましい。

## 【0069】

また、レーザーを用いたサファイア基板501と成長させたGaN系結晶を分離する工程において、レーザー光の波長は400nm~150nmの範囲であることが望ましく、照射するレーザービームのフォーカス位置はビームウエストが基板分離層503付近とし、この基板分離層503部分でレーザー光のエネルギー密度を急激に大きくして行う方が望ましい。

## 【0070】

また、加工用のレーザービームの走査方法としておおまかに、①ガルバノミラー

と $f-\theta$ レンズの組み合わせ、もしくは②ポリゴンミラーと $f-\theta$ レンズの組み合わせ、あるいは③ $x-y$ ステージによる移動の3つの方法が考えられるが、ビームのフォーカス位置を正確に保持するためには、③ $x-y$ ステージを移動する方法で走査したほうが望ましい。走査する方向はストライプの方向つまりGaNの $\langle 1-100 \rangle$ 方向であることが望ましい。

## 【0071】

基板501と窒化物結晶506を分離する工程において、リッジ側面とリセス底部及び再成長結晶で囲まれたエアギャップ部分が存在することにより、再成長した窒化物系結晶が基板に癒着することがほとんどないため、従来例と比較しても容易に分離が可能で、分離後の窒化物系結晶の品質も高い。

## 【0072】

なお、周期的なリッジストライプに代わって、周期的な格子上のリッジを設けた場合でも同様の効果が得られる。

## 【0073】

もちろん、これらの発明は以上の例に限定されるものではなく、細部については様々な態様が可能であることは言うまでもない。

## 【0074】

## (実施例4)

本発明に係る第4の実施形態は、おもに半導体装置に用いられるGaN系半導体結晶において、転位密度及び熱歪み・格子歪みを低減できるGaN基板の面積化を実現できるようにすることを目的とする。

## 【0075】

以下、本発明の第4の実施形態による半導体の製造方法の詳細について図面を参照しながら説明する。

## 【0076】

図7は本実施形態に係る半導体の製造方法における工程順の構成断面図を示している。このレーザの作成方法を工程順に図8(a)～(e)に示す。まず、サファイアより成る基板701の表面を酸溶液により洗浄する。その後、洗浄した基板701をMOVPE装置の反応炉内のサセプタに保持し、反応炉を真空排気

する。続いて、反応炉内を圧力が300 Torrの水素雰囲気とし、温度を約1100℃まで昇温して基板701を加熱し表面のサーマルクリーニングを約10分間おこなう。

## 【0077】

次に反応炉を約500℃にまで降温した後、基板701上に、供給量25 mmol/minのトリメチルガリウム (TMG) と供給量が7.5 L/minのアモニア (NH<sub>3</sub>) ガスと、キャリアガスとして水素とを同時に供給することにより、厚さが20 nmのGaNよりなる低温バッファ層を成長させる。

## 【0078】

その後、1000℃まで昇温させ、TMGとNH<sub>3</sub>とを供給し、GaN層702を堆積する。続いて、反応炉を約1000℃にまで昇温し、NH<sub>3</sub>、アルシンおよびTMGを供給して厚さが約100 nmのGaN<sub>0.96</sub>As<sub>0.04</sub>よりなる基板分離層703を成長させる。このとき表面はC面になっている(図8(a))。この基板分離層703は相分離を起しやすい窒化物半導体層であり、熱エネルギーや光エネルギーにより劣化されやすくなり、基板と再成長した半導体層との分離を容易にする効果がある。

## 【0079】

次に、フォトリソグラフィ技術、ドライエッチング技術を用いてGaN層702および703をリセス状(凹状)に加工し、周期的なリッジストライプを形成する。そして、ECRスパッタなどの絶縁膜堆積技術を用いてリッジ形状の側面とリセス底面に非晶質絶縁膜であるSiN<sub>x</sub>704(厚さ10 nm)を堆積する(図8(b))。

## 【0080】

このときリッジストライプの周期は16 μm、リッジ部の幅は4 μmである。また、ストライプの方向はGaNの<1-100>方向である。

## 【0081】

リッジの頂上に露出した基板分離層703のC面を種結晶として減圧MOVPE法によってエアギャップ705、GaN系半導体層706(厚さ2 μm)を順次堆積する(図8(c))。GaN系半導体層706はエアギャップ705の中

央部付近で合体し合体部 4 0 1 を形成している。

【 0 0 8 2 】

その後、サファイア基板 7 0 1 の裏面より G a N 系半導体層 7 0 6 の種結晶となっている基板分離層 7 0 3 部分の全部もしくは一部に紫外レーザー光 8 0 2 ( N d : Y A G レーザ第 3 高調波 ( 波長 3 5 5 n m ) ) を照射し、種結晶部分を光化学的に劣化させ基板と成長させた G a N 系結晶を分離する。

【 0 0 8 3 】

このようにして図 8 ( d ) に示される半導体基板を作製することができる。

【 0 0 8 4 】

レーザーを用いて、サファイア基板 7 0 1 と成長させた G a N 系結晶を分離する工程の前段階として以下の方法で熱的アニールを施すと基板と G a N 系結晶を分離する工程が効果的に実施できる。結晶成長後の基板を開管石英管に搬送し、窒素雰囲気中にて約 1 0 0 0 ° C で 6 時間の熱的アニールを施す。アニール温度は G a N 層からの窒素原子抜け等のダメージを考慮すると 1 2 0 0 ° C までは望ましい。

【 0 0 8 5 】

また、レーザーを用いたサファイア基板 7 0 1 と成長させた G a N 系結晶を分離する工程において、レーザー光の波長は 4 0 0 n m ~ 1 5 0 n m の範囲であることが望ましく、照射するレーザービームのフォーカス位置はビームウエストが基板分離層 7 0 3 付近とし、この基板分離層 7 0 3 部分でレーザー光のエネルギー密度を急激に大きくして行う方が望ましい。

【 0 0 8 6 】

また、加工用のレーザービームの走査方法としておおまかに、①ガルバノミラーと f -  $\theta$  レンズの組み合わせ、もしくは②ポリゴンミラーと f -  $\theta$  レンズの組み合わせ、あるいは③ x - y ステージによる移動の 3 つの方法が考えられるが、ビームのフォーカス位置を正確に保持するためには、③ x - y ステージを移動する方法で走査したほうが望ましい。走査する方向はストライプの方向つまり G a N の  $\langle 1 - 1 0 0 \rangle$  方向であることが望ましい。

【 0 0 8 7 】



基板 7 0 1 と窒化物結晶 7 0 6 を分離する工程において、リッジ側面とリセス底部及び再成長結晶で囲まれたエアギャップ部分が存在することにより、再成長した窒化物系結晶が基板に癒着することがほとんどないため、従来例と比較しても容易に分離が可能で、分離後の窒化物系結晶の品質も高い。

## 【 0 0 8 8 】

なお、周期的なリッジストライプに代わって、周期的な格子上のリッジを設けた場合でも同様の効果が得られる。

## 【 0 0 8 9 】

もちろん、これらの発明は以上の例に限定されるものではなく、細部については様々な態様が可能であることは言うまでもない。

## 【 0 0 9 0 】

## (実施例 5)

本発明に係る第 3 の実施形態は、おもに半導体装置に用いられる G a N 系半導体結晶において、転位密度及び熱歪み・格子歪みを低減できる G a N 基板の大面積化を実現できるようにすることを目的とする。

## 【 0 0 9 1 】

以下、本発明の第 3 の実施形態による半導体の製造方法の詳細について図面を参照しながら説明する。なお、図面の寸法は実際の場合と必ずしも一致していない。

## 【 0 0 9 2 】

図 9 は本実施形態に係る半導体の製造方法における工程順の構成断面図を示している。このレーザの作成方法を工程順に図 1 0 ( a ) ~ ( e ) に示す。まず、サファイアより成る基板 9 0 1 の表面を酸溶液により洗浄する。その後、洗浄した基板 9 0 1 を M O V P E 装置の反応炉内のサセプタに保持し、反応炉を真空排気する。続いて、反応炉内を圧力が 3 0 0 T o r r の水素雰囲気とし、温度を約 1 1 0 0 ° C まで昇温して基板 9 0 1 を加熱し表面のサーマルクリーニングを約 1 0 分間おこなう。

## 【 0 0 9 3 】

次に反応炉を約 5 0 0 ° C にまで降温した後、基板 9 0 1 上に、供給量 2 5 m m

0.1/minのトリメチルガリウム (TMG) と供給量が7.5 L/minのアンモニア ( $\text{NH}_3$ ) ガスと、キャリアガスとして水素とを同時に供給することにより、厚さが20 nmのGaNよりなる低温バッファ層を成長させる。

#### 【0094】

その後、1000℃まで昇温させ、TMGと $\text{NH}_3$ とを供給し、GaN層902を堆積する。続いて、温度を約800℃に降温し、キャリアガスを水素から窒素に変更して、トリメチルインジウム (TMI) 及びTMGを供給して厚さが約100 nmの $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ よりなる基板分離層903を成長させる。このとき表面はC面になっている (図10(a))。この基板分離層903は相分離を起しやすい窒化物半導体層であり、熱エネルギーや光エネルギーにより劣化されやすくなり、基板と再成長した半導体層との分離を容易にする効果がある。

#### 【0095】

次に、フォトリソグラフィ技術、ドライエッチング技術を用いてGaN層902および903をリセス状 (凹状) に加工し、周期的なリッジストライプを形成する。そして、ECRスパッタなどの絶縁膜堆積技術を用いてリッジ形状の側面とリセス底面に非晶質絶縁膜である $\text{SiN}_x$ 904 (厚さ10 nm) を堆積する (図10(b))。

#### 【0096】

このときリッジストライプの周期は16  $\mu\text{m}$ 、リッジ部の幅は4  $\mu\text{m}$ である。また、ストライプの方向はGaNの $\langle 1-100 \rangle$ 方向である。

#### 【0097】

リッジの頂上に露出したGaN層のC面を種結晶として減圧MOVPE法によってエアギャップ905、 $n\text{-Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ 層 (厚さ2  $\mu\text{m}$ ) 906、 $n\text{-Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ /n-GaN超格子コンタクト層 (厚さ2  $\mu\text{m}$ )、 $n\text{-Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ 層 (厚さ0.5  $\mu\text{m}$ ) を順次堆積する (図10(c))。n- $\text{Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ 層906はエアギャップ905の中央部付近で合体し合体部1001を形成している。

#### 【0098】

次に、 $n\text{-AlGa}\text{N}$ クラッド層907をリセス状 (凹状) に加工し、周期的

なリッジストライプを形成する。この時、エッチングが $n\text{-Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ / $n\text{-Ga}\text{N}$ 超格子コンタクト層まで至ってもかまわない。そしてリッジ形状の側面とリセス底面に $\text{SiN}_x$ 908 (厚さ10nm) を堆積する (図10 (d))。この時リッジストライプの周期は $16\mu\text{m}$ 、リッジ部は幅約幅 $3\mu\text{m}$ である。また、約 $3\mu\text{m}$ のリッジ部はエアギャップ604上部の貫通転位が少ない領域で形成されている。

## 【0099】

リッジの頂上に露出した $n\text{-Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ クラッド層907のC面を種結晶として減圧MOVPE法によってエアギャップ909、 $n\text{-Ga}\text{N}$ 光ガイド層910 (厚さ $0.2\mu\text{m}$ )、多重量子井戸 (MQW) 活性層911、 $p\text{-Ga}\text{N}$ 光ガイド層912 (厚さ $0.1\mu\text{m}$ )、 $p\text{-Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ クラッド層913 (厚さ $2\mu\text{m}$ )、 $p\text{-Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ クラッド層913はエアギャップ109の中央部付近で合体している。

## 【0100】

その後、 $p\text{-Ga}\text{N}$ 層914上にp電極915を堆積し、p電極915と $p\text{-Ga}\text{N}$ 層914、 $p\text{-AlGa}\text{N}$ クラッド層913を幅 $5\mu\text{m}$ 程度のリッジ状に加工する。露出した $p\text{-Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ クラッド層に913上は $\text{SiO}_2$ などの絶縁膜916を被覆し、電流狭窄構造を形成する。絶縁膜916の形成方法は、ECRスパッタを用いている。p電極915と絶縁膜916上には $5\mu\text{m}$ のAuからなる配線電極918が形成されている。

## 【0101】

その後、サファイア基板901の裏面より $n\text{-Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ 906の種結晶となっている基板分離層903部分の全部もしくは一部に紫外レーザー光1002 (Nd:YAGレーザー第3高調波 (波長 $355\text{nm}$ )) を照射し、種結晶部分を光化学的に劣化させ基板と成長させたGa系結晶を分離する。

## 【0102】

このようにして図10 (e) に示される半導体レーザーを作製することができる。

## 【0103】

レーザを用いて、サファイア基板 9 0 1 と成長させた G a N 系結晶を分離する工程の前段階として以下の方法で熱的アニールを施すと基板と G a N 系結晶を分離する工程がより効果的に実施できる。結晶成長後の基板を開管石英管に搬送し、窒素雰囲気中にて約 1 0 0 0 °C で 6 時間の熱的アニールを施す。アニール温度は G a N 層からの窒素原子抜け等のダメージを考慮すると 1 2 0 0 °C までが望ましい。

## 【 0 1 0 4 】

また、レーザを用いたサファイア基板 9 0 1 と成長させた G a N 系結晶を分離する工程において、レーザ光の波長は 4 0 0 n m ~ 1 5 0 n m の範囲であることが望ましく、照射するレーザビームのフォーカス位置はビームウエストが基板分離層 9 0 3 付近とし、この基板分離層 9 0 3 部分でレーザ光のエネルギー密度を急激に大きくして行う方が望ましい。

## 【 0 1 0 5 】

また、加工用のレーザビームの走査方法としておおまかに、①ガルバノミラーと f -  $\theta$  レンズの組み合わせ、もしくは②ポリゴンミラーと f -  $\theta$  レンズの組み合わせ、あるいは③ x - y ステージによる移動の 3 つの方法が考えられるが、ビームのフォーカス位置を正確に保持するためには、③ x - y ステージを移動する方法で走査したほうが望ましい。走査する方向はストライプの方向つまり G a N の  $\langle 1 - 1 0 0 \rangle$  方向であることが望ましい。

## 【 0 1 0 6 】

基板 9 0 1 と窒化物結晶 9 0 6 を分離する工程において、リッジ側面とリセス底部及び再成長結晶で囲まれたエアギャップ部分が存在することにより、再成長した窒化物系結晶が基板に癒着することがほとんどないため、従来例と比較しても容易に分離が可能で、分離後の窒化物系結晶の品質も高い。

## 【 0 1 0 7 】

なお、周期的なリッジストライプに代わって、周期的な格子上のリッジを設けた場合でも同様の効果が得られる。

## 【 0 1 0 8 】

もちろん、これらの発明は以上の例に限定されるものではなく、細部について

は様々な態様が可能であることは言うまでもない。

【0109】

(実施例6)

本発明に係る第4の実施形態は、おもに半導体装置に用いられるGaN系半導体結晶において、転位密度及び熱歪み・格子歪みを低減できるGaN基板の大面积化を実現できるようにすることを目的とする。

【0110】

以下、本発明の第4の実施形態による半導体の製造方法の詳細について図面を参照しながら説明する。なお、図面の寸法は実際の場合と必ずしも一致していない。

【0111】

図11は本実施形態に係る半導体の製造方法における工程順の構成断面図を示している。このレーザの作成方法を工程順に図12(a)～(e)に示す。まず、サファイアより成る基板1101の表面を酸溶液により洗浄する。その後、洗浄した基板1101をMOVPE装置の反応炉内のサセプタに保持し、反応炉を真空排気する。続いて、反応炉内を圧力が300 Torrの水素雰囲気とし、温度を約1100℃まで昇温して基板1101を加熱し表面のサーマルクリーニングを約10分間おこなう。

【0112】

次に反応炉を約500℃にまで降温した後、基板1101上に、供給量25 mmol/minのトリメチルガリウム(TMG)と供給量が7.5 L/minのアンモニア(NH<sub>3</sub>)ガスと、キャリアガスとして水素とを同時に供給することにより、厚さが20 nmのGaNよりなる低温バッファ層を成長させる。

【0113】

その後、1000℃まで昇温させ、TMGとNH<sub>3</sub>とを供給し、GaN層1102を堆積する。続いて、温度を約800℃に降温し、キャリアガスを水素から窒素に変更して、トリメチルインジウム(TMI)及びTMGを供給して厚さが約100 nmのIn<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nよりなる基板分離層1103を成長させる。このとき表面はC面になっている(図12(a))。この基板分離層1103は相

分離を起しやすい窒化物半導体層であり、熱エネルギーや光エネルギーにより劣化されやすくなり、基板と再成長した半導体層との分離を容易にする効果がある。

#### 【0114】

次に、フォトリソグラフィ技術、ドライエッチング技術を用いてGaN層1102および1103をリセス状（凹状）に加工し、周期的なリッジストライプを形成する。そして、ECRスパッタなどの絶縁膜堆積技術を用いてリッジ形状の側面とリセス底面に非晶質絶縁膜である $\text{SiN}_x$ 1104（厚さ10nm）を堆積する（図12（b））。

#### 【0115】

このときリッジストライプの周期は16 $\mu\text{m}$ 、リッジ部の幅は4 $\mu\text{m}$ である。また、ストライプの方向はGaNの $\langle 1-100 \rangle$ 方向である。

#### 【0116】

リッジの頂上に露出した基板分離層1103のC面を種結晶として減圧MOVPE法によってエアギャップ1105、GaN系半導体層層1106（厚さ2mm）を順次堆積する（図12（c））。GaN系半導体層1106はエアギャップ1105の中央部付近で合体し合体部1201を形成している。

#### 【0117】

その後、サファイア基板1101の裏面よりGaN系半導体層1106の種結晶となっている基板分離層1103部分の全部もしくは一部に紫外レーザー光（Nd:YAGレーザー第3高調波（波長355nm））を照射し、種結晶部分を光化学的に劣化させ基板と成長させたGaN系結晶を分離する。

#### 【0118】

このようにして図12（d）に示される半導体基板を作製することができる。

#### 【0119】

レーザーを用いて、サファイア基板1101と成長させたGaN系結晶を分離する工程の前段階として以下の方法で熱的アニールを施すと基板とGaN系結晶を分離する工程が効果的に実施できる。結晶成長後の基板を開管石英管に搬送し、窒素雰囲気中にて約1000℃で6時間の熱的アニールを施す。アニール温度は

GaN層からの窒素原子抜け等のダメージを考慮すると1200℃までが望ましい。

#### 【0120】

また、レーザを用いたサファイア基板1101と成長させたGaN系半導体層1106を分離する工程において、レーザ光の波長は400nm～150nmの範囲であることが望ましく、照射するレーザビームのフォーカス位置はビームウエストが基板分離層1103付近とし、この基板分離層1103部分でレーザ光のエネルギー密度を急激に大きくして行う方が望ましい。

#### 【0121】

また、加工用のレーザビームの走査方法としておおまかに、①ガルバノミラーとf-θレンズの組み合わせ、もしくは②ポリゴンミラーとf-θレンズの組み合わせ、あるいは③x-yステージによる移動の3つの方法が考えられるが、ビームのフォーカス位置を正確に保持するためには、③x-yステージを移動する方法で走査したほうが望ましい。走査する方向はストライプの方向つまりGaNの<1-100>方向であることが望ましい。

#### 【0122】

基板1101と窒化物結晶1106を分離する工程において、リッジ側面とリセス底部及び再成長結晶で囲まれたエアギャップ部分が存在することにより、再成長した窒化物系結晶が基板に癒着することがほとんどないため、従来例と比較しても容易に分離が可能で、分離後の窒化物系結晶の品質も高い。

#### 【0123】

なお、周期的なリッジストライプに代わって、周期的な格子上のリッジを設けた場合でも同様の効果が得られる。

#### 【0124】

もちろん、これらの発明は以上の例に限定されるものではなく、細部については様々な態様が可能であることは言うまでもない。

#### 【0125】

##### (実施例7)

本発明に係る第7の実施形態は、おもに半導体装置に用いられるGaN系半導

体結晶において、転位密度及び熱歪み・格子歪みを低減できるGaN基板の大面積化を実現できるようにすることを目的とする。

#### 【0126】

以下、本発明の第7の実施形態による半導体の製造方法の詳細について図面を参照しながら説明する。なお、図面の寸法は実際の場合と必ずしも一致していない。

#### 【0127】

図13は本実施形態に係る半導体の製造方法における工程順の構成断面図を示している。このレーザの作成方法を工程順に図14(a)～(e)に示す。まず、サファイアより成る基板1301の表面を酸溶液により洗浄する。その後、洗浄した基板1301をMOVPE装置の反応炉内のサセプタに保持し、反応炉を真空排気する。続いて、反応炉内を圧力が300 Torrの水素雰囲気とし、温度を約1100℃まで昇温して基板1301を加熱し表面のサーマルクリーニングを約10分間おこなう。

#### 【0128】

次に反応炉を約500℃にまで降温した後、基板1301上に、供給量25 mmol/minのトリメチルガリウム(TM<sub>G</sub>)と供給量が7.5 L/minのアンモニア(NH<sub>3</sub>)ガスと、キャリアガスとして水素とを同時に供給することにより、厚さが20 nmのGaNよりなる低温バッファ層を成長させる。

#### 【0129】

その後、1000℃まで昇温させ、TM<sub>G</sub>とNH<sub>3</sub>とを供給し、GaN層1302を堆積する。続いて、NH<sub>3</sub>、ホスフィン(PH<sub>3</sub>)及びTM<sub>G</sub>を供給して厚さが約100 nmのGa<sub>0.96</sub>N<sub>0.04</sub>P<sub>0.04</sub>よりなる基板分離層1303を成長させる。このとき表面はC面になっている(図14(a))。この基板分離層1303は相分離を起しやすい窒化物半導体層であり、熱エネルギーや光エネルギーにより劣化されやすくなり、基板と再成長した半導体層との分離を容易にする効果がある。

#### 【0130】

次に、フォトリソグラフィ技術、ドライエッチング技術を用いてGaN層1



302および1303をリセス状（凹状）に加工し、周期的なリッジストライプを形成する。そして、ECRスパッタなどの絶縁膜堆積技術を用いてリッジ形状の側面とリセス底面に非晶質絶縁膜である $\text{SiN}_x$ 1304（厚さ10nm）を堆積する（図14（b））。

## 【0131】

このときリッジストライプの周期は16 $\mu\text{m}$ 、リッジ部の幅は4 $\mu\text{m}$ である。また、ストライプの方向はGaNの $\langle 1-100 \rangle$ 方向である。

## 【0132】

リッジの頂上に露出したGaN層のC面を種結晶として減圧MOVPE法によってエアギャップ1305、 $n\text{-Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ 層（厚さ2 $\mu\text{m}$ ）1306、 $n\text{-Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ ／ $n\text{-GaN}$ 超格子コンタクト層（厚さ2 $\mu\text{m}$ ）、 $n\text{-Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ 層（厚さ0.5 $\mu\text{m}$ ）を順次堆積する（図14（c））。 $n\text{-Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ 層1306はエアギャップ1305の中央部付近で合体し合体部1401を形成している。

## 【0133】

次に、 $n\text{-AlGa}$ Nクラッド層1307をリセス状（凹状）に加工し、周期的なリッジストライプを形成する。この時、エッチングが $n\text{-Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ ／ $n\text{-GaN}$ 超格子コンタクト層まで至ってもかまわない。そしてリッジ形状の側面とリセス底面に $\text{SiN}_x$ 1308（厚さ10nm）を堆積する（図14（d））。この時リッジストライプの周期は16 $\mu\text{m}$ 、リッジ部は幅約幅3 $\mu\text{m}$ である。また、約3 $\mu\text{m}$ のリッジ部はエアギャップ1304上部の貫通転位が少ない領域で形成されている。

## 【0134】

リッジの頂上に露出した $n\text{-Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ クラッド層1307のC面を種結晶として減圧MOVPE法によってエアギャップ1309、 $n\text{-GaN}$ 光ガイド層1310（厚さ0.2 $\mu\text{m}$ ）、多重量子井戸（MQW）活性層1311、 $p\text{-GaN}$ 光ガイド層1312（厚さ0.1 $\mu\text{m}$ ）、 $p\text{-Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ クラッド層1313（厚さ2 $\mu\text{m}$ ）、 $p\text{-Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ クラッド層1313はエアギャップ109の中央部付近で合体している。

## 【0135】

その後、 $p$ -Ga $N$ 層1314上に $p$ 電極1315を堆積し、 $p$ 電極1315と $p$ -Ga $N$ 層1314、 $p$ -AlGa $N$ クラッド層1313を幅5 $\mu$ m程度のリッジ状に加工する。露出した $p$ -Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub> $N$ クラッド層に1313上はSiO<sub>2</sub>などの絶縁膜1316を被覆し、電流狭窄構造を形成する。絶縁膜1316の形成方法は、ECRスパッタを用いている。 $p$ 電極1315と絶縁膜1316上には5 $\mu$ mのAuからなる配線電極1318が形成されている。

## 【0136】

その後、サファイア基板1301の裏面より $n$ -Al<sub>0.03</sub>Ga<sub>0.97</sub> $N$ 1306の種結晶となっている基板分離層1303部分の全部もしくは一部に紫外レーザー光1402（Nd:YAGレーザー第3高調波（波長355nm））を照射し、種結晶部分を光化学的に劣化させ基板と成長させたGa $N$ 系結晶を分離する。

## 【0137】

このようにして図14（e）に示される半導体レーザーを作製することができる。

## 【0138】

レーザーを用いて、サファイア基板1301と成長させたGa $N$ 系結晶を分離する工程の前段階として以下の方法で熱的アニールを施すと基板とGa $N$ 系結晶を分離する工程がより効果的に実施できる。結晶成長後の基板を開管石英管に搬送し、窒素雰囲気中にて約1000℃で6時間の熱的アニールを施す。アニール温度はGa $N$ 層からの窒素原子抜け等のダメージを考慮すると1200℃までが望ましい。

## 【0139】

また、レーザーを用いたサファイア基板1301と成長させたGa $N$ 系結晶を分離する工程において、レーザー光の波長は400nm～150nmの範囲であることが望ましく、照射するレーザービームのフォーカス位置はビームウエストが基板分離層1303とし、この基板分離層1303部分でレーザー光のエネルギー密度を急激に大きくして行う方が望ましい。

## 【0140】

また、加工用のレーザビームの走査方法としておおまかに、①ガルバノミラーと  $f-\theta$  レンズの組み合わせ、もしくは②ポリゴンミラーと  $f-\theta$  レンズの組み合わせ、あるいは③  $x-y$  ステージによる移動の3つの方法が考えられるが、ビームのフォーカス位置を正確に保持するためには、③  $x-y$  ステージを移動する方法で走査したほうが望ましい。走査する方向はストライプの方向つまり  $GaN$  の  $\langle 1-100 \rangle$  方向であることが望ましい。

## 【 0 1 4 1 】

基板 1 3 0 1 と窒化物結晶 1 3 0 6 を分離する工程において、リッジ側面とリセス底部及び再成長結晶で囲まれたエアギャップ部分が存在することにより、再成長した窒化物系結晶が基板に癒着することがほとんどないため、従来例と比較しても容易に分離が可能で、分離後の窒化物系結晶の品質も高い。

## 【 0 1 4 2 】

なお、周期的なリッジストライプに代わって、周期的な格子上のリッジを設けた場合でも同様の効果が得られる。

## 【 0 1 4 3 】

もちろん、これらの発明は以上の例に限定されるものではなく、細部については様々な態様が可能であることは言うまでもない。

## 【 0 1 4 4 】

## (実施例 8)

本発明に係る第 8 の実施形態は、おもに半導体装置に用いられる  $GaN$  系半導体結晶において、転位密度及び熱歪み・格子歪みを低減できる  $GaN$  基板の大面积積化を実現できるようにすることを目的とする。

## 【 0 1 4 5 】

以下、本発明の第 8 の実施形態による半導体の製造方法の詳細について図面を参照しながら説明する。なお、図面の寸法は実際の場合と必ずしも一致していない。

## 【 0 1 4 6 】

図 1 5 は本実施形態に係る半導体の製造方法における工程順の構成断面図を示している。このレーザの作成方法を工程順に図 1 6 (a) ~ (e) に示す。まず

、サファイアより成る基板1501の表面を酸溶液により洗浄する。その後、洗浄した基板1501をMOVPE装置の反応炉内のサセプタに保持し、反応炉を真空排気する。続いて、反応炉内を圧力が300 Torrの水素雰囲気とし、温度を約1100℃まで昇温して基板1501を加熱し表面のサーマルクリーニングを約10分間おこなう。

## 【0147】

次に反応炉を約500℃にまで降温した後、基板1501上に、供給量25 mmol/minのトリメチルガリウム (TMG) と供給量が7.5 L/minのアンモニア (NH<sub>3</sub>) ガスと、キャリアガスとして水素とを同時に供給することにより、厚さが20 nmのGaNよりなる低温バッファ層を成長させる。

## 【0148】

その後、1000℃まで昇温させ、TMGとNH<sub>3</sub>とを供給し、GaN層1502を堆積する。続いて、NH<sub>3</sub>、ホスフィン (PH<sub>3</sub>) 及びTMGを供給して厚さが約100 nmのGaN<sub>0.96</sub>P<sub>0.04</sub>よりなる基板分離層1503を成長させる。このとき表面はC面になっている (図16 (a))。この基板分離層1503は相分離を起しやすい窒化物半導体層であり、熱エネルギーや光エネルギーにより劣化されやすくなり、基板と再成長した半導体層との分離を容易にする効果がある。

## 【0149】

次に、フォトリソグラフィ技術、ドライエッチング技術を用いてGaN層1502および1503をリセス状 (凹状) に加工し、周期的なリッジストライプを形成する。そして、ECRスパッタなどの絶縁膜堆積技術を用いてリッジ形状の側面とリセス底面に非晶質絶縁膜であるSiN<sub>x</sub>1504 (厚さ10 nm) を堆積する (図16 (b))。

## 【0150】

このときリッジストライプの周期は16 μm、リッジ部の幅は4 μmである。また、ストライプの方向はGaNの<1-100>方向である。

## 【0151】

リッジの頂上に露出した基板分離層1503のC面を種結晶として減圧MOV

PE法によってエアギャップ1505、GaN系半導体層1506（厚さ2mm）を順次堆積する（図16（c））。GaN層1506はエアギャップ1505の中央部付近で合体し合体部1201を形成している。

#### 【0152】

その後、サファイア基板1501の裏面よりGaN系半導体層1506の種結晶となっている基板分離層1503部分の全部もしくは一部に紫外レーザー光（Nd：YAGレーザー第3高調波（波長355nm））を照射し、種結晶部分を光化学的に劣化させ基板と成長させたGaN系結晶を分離する。

#### 【0153】

このようにして図16（d）に示される半導体基板を作製することができる。

#### 【0154】

レーザーを用いて、サファイア基板1501と成長させたGaN系結晶を分離する工程の前段階として以下の方法で熱的アニールを施すと基板とGaN系結晶を分離する工程が効果的に実施できる。結晶成長後の基板を開管石英管に搬送し、窒素雰囲気中にて約1000℃で6時間の熱的アニールを施す。アニール温度はGaN層からの窒素原子抜け等のダメージを考慮すると1200℃までが望ましい。

#### 【0155】

また、レーザーを用いたサファイア基板1501と成長させたGaN系結晶を分離する工程において、レーザー光の波長は400nm～150nmの範囲であることが望ましく、照射するレーザービームのフォーカス位置はビームウエストが基板分離層1503とし、この基板分離層1503部分でレーザー光のエネルギー密度を急激に大きくして行う方が望ましい。

#### 【0156】

また、加工用のレーザービームの走査方法としておおまかに、①ガルバノミラーとf-θレンズの組み合わせ、もしくは②ポリゴンミラーとf-θレンズの組み合わせ、あるいは③x-yステージによる移動の3つの方法が考えられるが、ビームのフォーカス位置を正確に保持するためには、③x-yステージを移動する方法で走査したほうが望ましい。走査する方向はストライプの方向つまりGaN

の $\langle 1-100 \rangle$ 方向であることが望ましい。

【0157】

基板1501と窒化物結晶1506を分離する工程において、リッジ側面とリセス底部及び再成長結晶で囲まれたエアギャップ部分が存在することにより、再成長した窒化物系結晶が基板に癒着することがほとんどないため、従来例と比較しても容易に分離が可能で、分離後の窒化物系結晶の品質も高い。

【0158】

なお、周期的なリッジストライプに代わって、周期的な格子上のリッジを設けた場合でも同様の効果が得られる。

【0159】

もちろん、これらの発明は以上の例に限定されるものではなく、細部については様々な態様が可能であることは言うまでもない。

【0160】

以上の実施例3から実施例8までにおいて基板分離層に用いる窒化物結晶としてはGaNA<sub>s</sub>、GaInN、AlGa<sub>N</sub>、GaNPなどが考えられるが、これらの組成によって基板分離に用いるレーザの波長を変化させると効果的である。

【0161】

波長と基板分離層の組成との関係について述べる。窒化物結晶の吸収端波長について図19にまとめた。例えば基板分離層としてInGa<sub>N</sub>を用いる場合、In : Gaの比率を4 : 6 ~ 6 : 4にすると530nm付近となりNd : YAGレーザの第2高調波なども使用できるが、In比率を高くするにつれ結晶性が低下し、再成長させる窒化物結晶の品質へ悪影響を及ぼすためIn組成は5 : 5までとするのが望ましい。また、GaNA<sub>s</sub>、GaNPを基板分離層として用いた場合、Ga<sub>N</sub>とGaA<sub>s</sub>、GaPでは結晶構造が異なるため結晶性が低下し、再成長させる窒化物結晶の品質へ悪影響を及ぼすためA<sub>s</sub>やPの組成は5%までとするのが望ましい。この場合、最適のレーザ波長は400nm付近であるが、加工用として実績のあるレーザとしては波長が350nm付近であるNd : YAG及びYLFレーザやXeFエキシマレーザなどを用いるのが効果的である。AlGa<sub>N</sub>を基板分離層として用いた場合では、波長190 ~ 360nmのレーザを用

いるのが効果的であるが、レーザの活性層にダメージを及ぼすため、350nm 付近のレーザ光を用いたほうが望ましい。

#### 【0162】

また以上の実施例1から実施例8において、リッジストライプの周期については大きすぎると良好なエアギャップ（空洞部分）が得られないため基板と窒化物半導体層との分離が困難になり、小さすぎると転位の低減効果が少なくなるため、10～100 $\mu$ m程度であることが望ましく、リッジ部分の幅も広すぎた場合転位の低減効果が少なくなり、狭すぎると種結晶部分が小さくなるため窒化物半導体層の結晶性が低くなるため2～10 $\mu$ m程度であることが望ましい。またリッジの高さは、ドライエッチングによるエッチングダメージの影響や、良好なエアギャップ（空洞部分）が得られることを考慮すると、0.3～2 $\mu$ m程度であることが望ましい。

#### 【0163】

もちろん、これらの発明は以上の例に限定されるものではなく、細部については様々な態様が可能であることは言うまでもない。

#### 【0164】

##### 【発明の効果】

以上説明したように、本発明の窒化物系半導体素子の製造方法は、GaN系結晶をリッジ状に加工する工程とリッジ側面とリセス底部とを非晶質絶縁膜で被覆する工程と、前記窒化物系結晶の表面に露出した部分を種結晶として活性層構造を積層する工程と、前記基板と窒化物GaN結晶を分離する工程を有している。前記基板と窒化物GaN結晶を分離する工程において、リッジ側面とリセス底部及び再成長結晶で囲まれたエアギャップ部分が存在することにより、再成長した窒化物系結晶が基板に癒着することがほとんどないため、従来例と比較しても容易に分離が可能で、分離後のGaN結晶の品質も高い。以上の結果、信頼性の高い、特性に優れた半導体レーザを歩留まりよく作製することが可能となる。

#### 【0165】

また、本発明の窒化物系半導体結晶の製造方法は、基板上に窒化物系結晶を堆積させた後、該窒化物系結晶をリッジ状に加工する工程と、リッジ側面とリセス

底部とを非晶質絶縁膜で被覆する工程と、第二の窒化物系結晶堆積した後に該第二の窒化物系結晶の上記非晶質絶縁膜の上部に第二のリッジ形成する工程と、該第二のリッジ側面とリセス底部とを非晶質絶縁膜で被覆する工程と、上記第二の窒化物系結晶の表面に露出した部分を種結晶として活性層構造を積層し、前記基板上に成長した該第一の窒化物系結晶をレーザ光で劣化させることにより前記基板と窒化物結晶を分離する工程を有している。前記基板と窒化物窒化物結晶を分離する工程において、リッジ側面とリセス底部及び再成長結晶で囲まれたエアギャップ部分が存在することにより、再成長した窒化物系結晶が基板に癒着することがほとんどないため、従来例と比較しても容易に分離が可能で、分離後の窒化物結晶の品質も高い。以上の結果、簡便に転移等の欠陥や基板からの応力ひずみの少ない領域を半導体の活性領域として用いることができ、信頼性などの特性に優れた素子を歩留まりよく作製することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明に係る第 1 の実施の形態を示す半導体素子の断面構造図

【図 2】

本発明に係る第 1 の実施の形態を示す半導体素子の製造方法を工程順に示した構造断面図

【図 3】

本発明に係る第 2 の実施の形態を示す半導体素子の断面構造図

【図 4】

本発明に係る第 2 の実施の形態を示す半導体素子の製造方法を工程順に示した構造断面図

【図 5】

本発明に係る第 3 の実施の形態を示す半導体素子の断面構造図

【図 6】

本発明に係る第 3 の実施の形態を示す半導体素子の製造方法を工程順に示した構造断面図

【図 7】



本発明に係る第 4 の実施の形態を示す半導体素子の断面構造図

【図 8】

本発明に係る第 4 の実施の形態を示す半導体素子の製造方法を工程順に示した  
構造断面図

【図 9】

本発明に係る第 5 の実施の形態を示す半導体素子の断面構造図

【図 1 0】

本発明に係る第 5 の実施の形態を示す半導体素子の製造方法を工程順に示した  
構造断面図

【図 1 1】

本発明に係る第 6 の実施の形態を示す半導体素子の断面構造図

【図 1 2】

本発明に係る第 6 の実施の形態を示す半導体素子の製造方法を工程順に示した  
構造断面図

【図 1 3】

本発明に係る第 7 の実施の形態を示す半導体素子の断面構造図

【図 1 4】

本発明に係る第 7 の実施の形態を示す半導体素子の製造方法を工程順に示した  
構造断面図

【図 1 5】

本発明に係る第 8 の実施の形態を示す半導体素子の断面構造図

【図 1 6】

本発明に係る第 8 の実施の形態を示す半導体素子の製造方法を工程順に示した  
構造断面図

【図 1 7】

従来の G a N 系半導体レーザの素子断面図

【図 1 8】

従来の E L O G 成長を用いた G a N 系半導体レーザの素子断面図

【図 1 9】

窒化物半導体材料の格子定数と吸収端波長との関係図

【符号の説明】

- 101 基板
- 102 GaN層
- 103 非晶質絶縁膜
- 104 エアギャップ
- 105  $n\text{-Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ 層
- 106  $n\text{-Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ ／ $n\text{-GaN}$ 超格子コンタクト層
- 107  $n\text{-Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ 層
- 108 非晶質絶縁膜
- 109 エアギャップ
- 110  $n\text{-GaN}$ 光ガイド層
- 111 多重量子井戸活性層
- 112  $p\text{-GaN}$ 光ガイド層
- 113  $p\text{-Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ クラッド層
- 114  $p\text{-GaN}$ 層
- 115  $p$ -電極
- 116 絶縁膜
- 117  $n$ -電極
- 118, 119 配線電極
- 201 合体部
- 202 レーザビーム
- 301 基板
- 302 GaN層
- 303 非晶質絶縁膜
- 304 エアギャップ
- 305 GaN層
- 401 合体部
- 402 レーザビーム

- 5 0 1 基板
- 5 0 2 GaN層
- 5 0 3 基板分離層
- 5 0 4 非晶質絶縁膜
- 5 0 5 エアギャップ
- 5 0 6  $n\text{-Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ 層
- 5 0 7  $n\text{-AlGa}\text{N}$ クラッド層
- 5 0 8 非晶質絶縁膜
- 5 0 9 エアギャップ
- 5 1 0 光ガイド層
- 5 1 1 多重量子井戸活性層
- 5 1 2  $p\text{-Ga}\text{N}$ 光ガイド層
- 5 1 3  $p\text{-Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ クラッド層
- 5 1 4  $p\text{-Ga}\text{N}$ 層
- 5 1 5 p電極
- 5 1 6 絶縁膜
- 5 1 7 n電極
- 5 1 8, 1 1 9 配線電極
- 6 0 1 合体部
- 6 0 2 レーザビーム
- 7 0 1 基板
- 7 0 2 GaN層
- 7 0 3 基板分離層
- 7 0 4 非晶質絶縁膜
- 7 0 5 エアギャップ
- 7 0 6 GaN層
- 8 0 1 合体部
- 8 0 2 レーザビーム
- 9 0 1 基板

- 902 GaN層
- 903 基板分離層
- 904 非晶質絶縁膜
- 905 エアギャップ
- 906  $n\text{-Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ 層
- 907  $n\text{-AlGa}\text{N}$ クラッド層
- 908 非晶質絶縁膜
- 909 エアギャップ
- 910 光ガイド層
- 911 多重量子井戸活性層
- 912  $p\text{-Ga}\text{N}$ 光ガイド層
- 913  $p\text{-Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ クラッド層
- 914  $p\text{-Ga}\text{N}$ 層
- 915 p電極
- 916 絶縁膜
- 917 n電極
- 918, 919 配線電極
- 1001 合体部
- 1002 レーザビーム
- 1101 基板
- 1102 GaN層
- 1103 基板分離層
- 1104 非晶質絶縁膜
- 1105 エアギャップ
- 1106 GaN層
- 1201 合体部
- 1202 レーザビーム
- 1301 基板
- 1302 GaN層

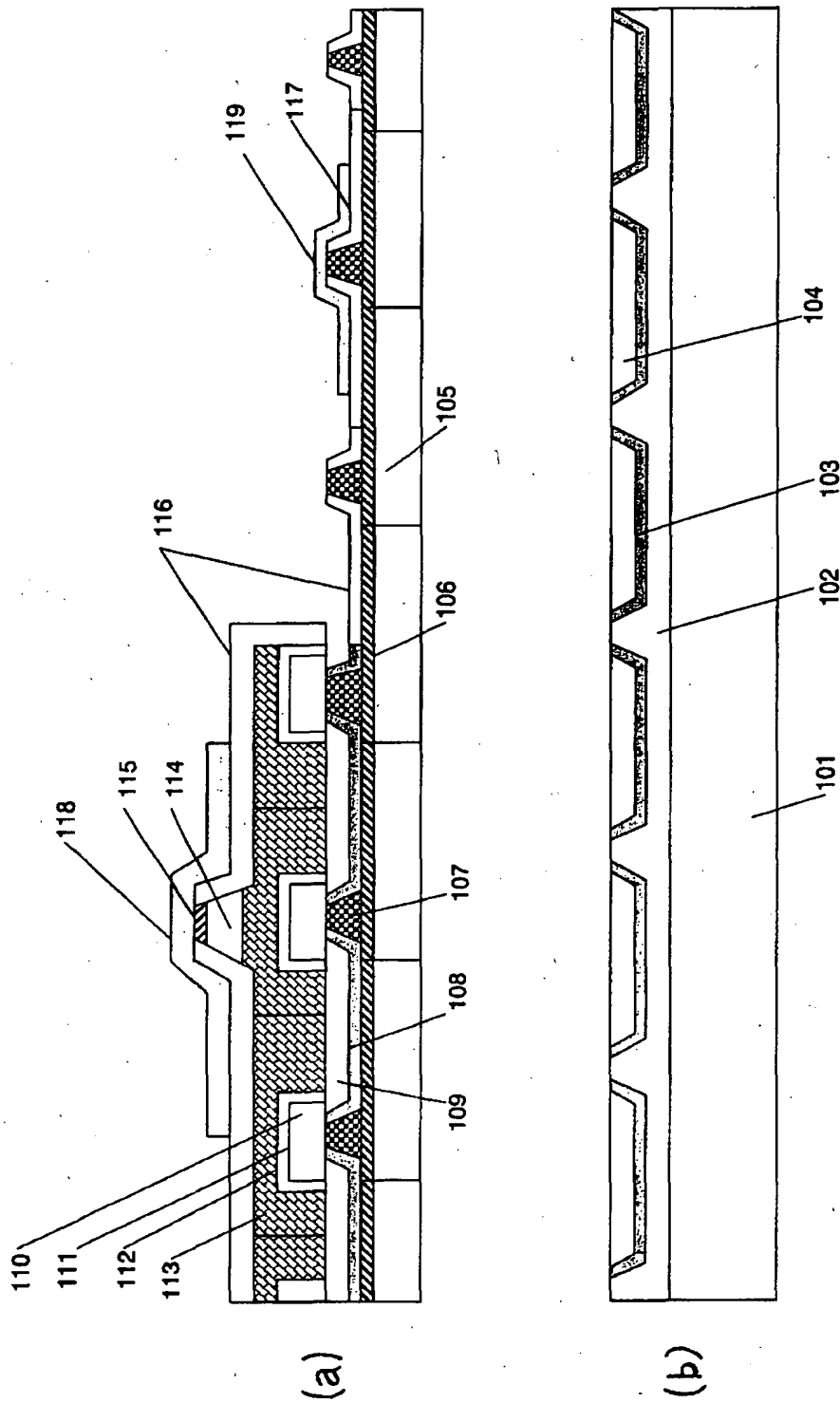
- 1303 基板分離層
- 1304 非晶質絶縁膜
- 1305 エアギャップ
- 1306  $n\text{-Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ 層
- 1307  $n\text{-AlGa}\text{N}$ クラッド層
- 1308 非晶質絶縁膜
- 1309 エアギャップ
- 1310 光ガイド層
- 1311 多重量子井戸活性層
- 1312  $p\text{-Ga}\text{N}$ 光ガイド層
- 1313  $p\text{-Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ クラッド層
- 1314  $p\text{-Ga}\text{N}$ 層
- 1315  $p$ 電極
- 1316 絶縁膜
- 1317  $n$ 電極
- 1318, 1319 配線電極
- 1401 合体部
- 1402 レーザビーム
- 1501 基板
- 1502  $\text{Ga}\text{N}$ 層
- 1503 基板分離層
- 1504 非晶質絶縁膜
- 1505 エアギャップ
- 1506  $\text{Ga}\text{N}$ 層
- 1601 合体部
- 1602 レーザビーム
- 1801 サファイア基板
- 1802  $\text{Ga}\text{N}$ バッファ層
- 1803  $n\text{-Ga}\text{N}$ 層

- 1804 n-AlGa<sub>N</sub>層
- 1705 n-GaN光ガイド層
- 1706 多重量子井戸活性層
- 1707 p-GaN光ガイド層
- 1708 p-AlGa<sub>N</sub>クラッド層
- 1709 p-GaNコンタクト層
- 1710 p電極
- 1711 SiO<sub>2</sub>
- 1712 n電極
- 1801 サファイア基板
- 1802 Ga<sub>N</sub>結晶
- 1803 SiO<sub>2</sub>
- 1804 Ga<sub>N</sub>結晶
- 1805 転位の少ない領域
- 1806 転位の多い領域

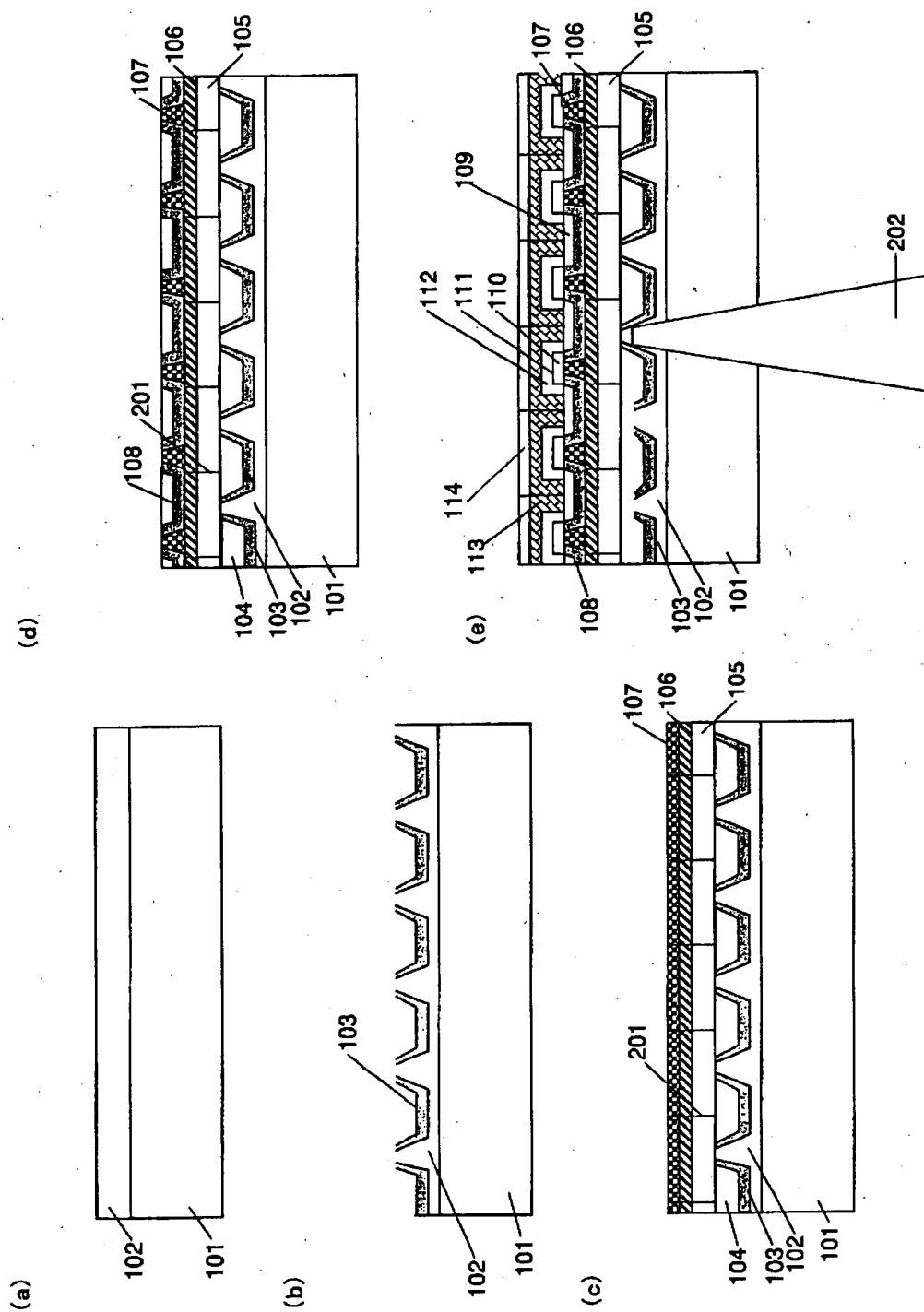
【書類名】

図面

【図 1】

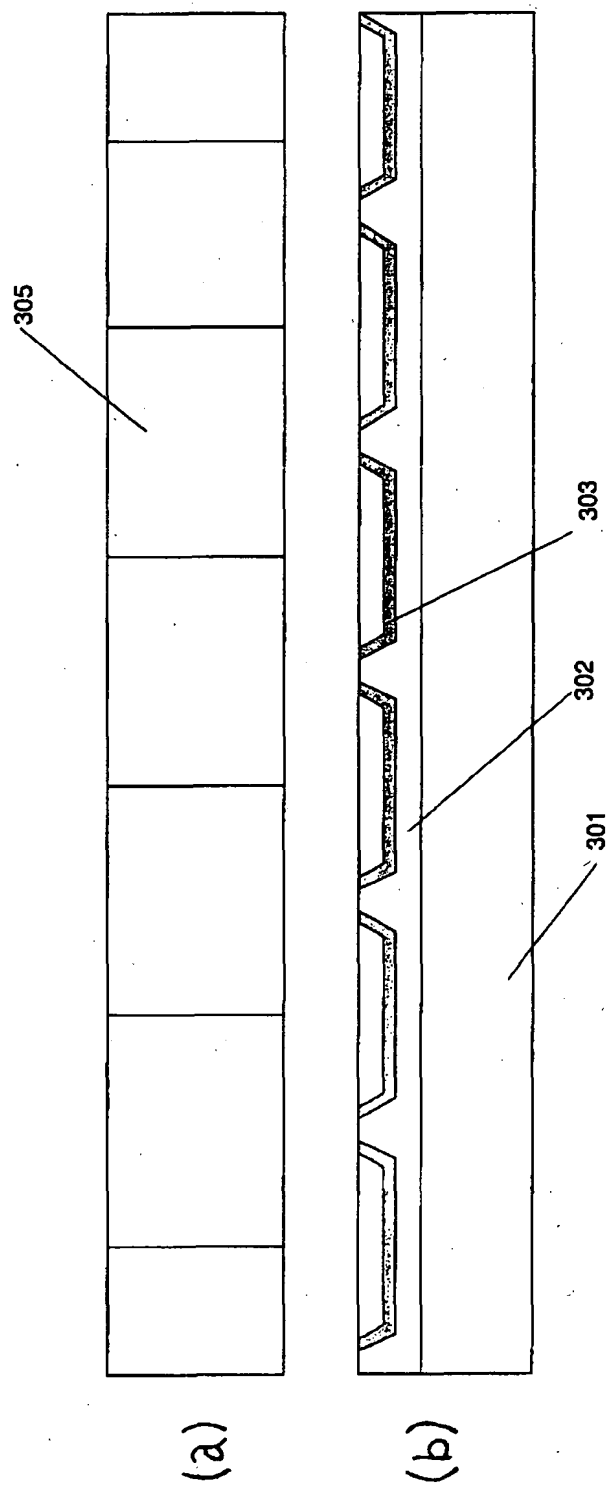


【図 2】

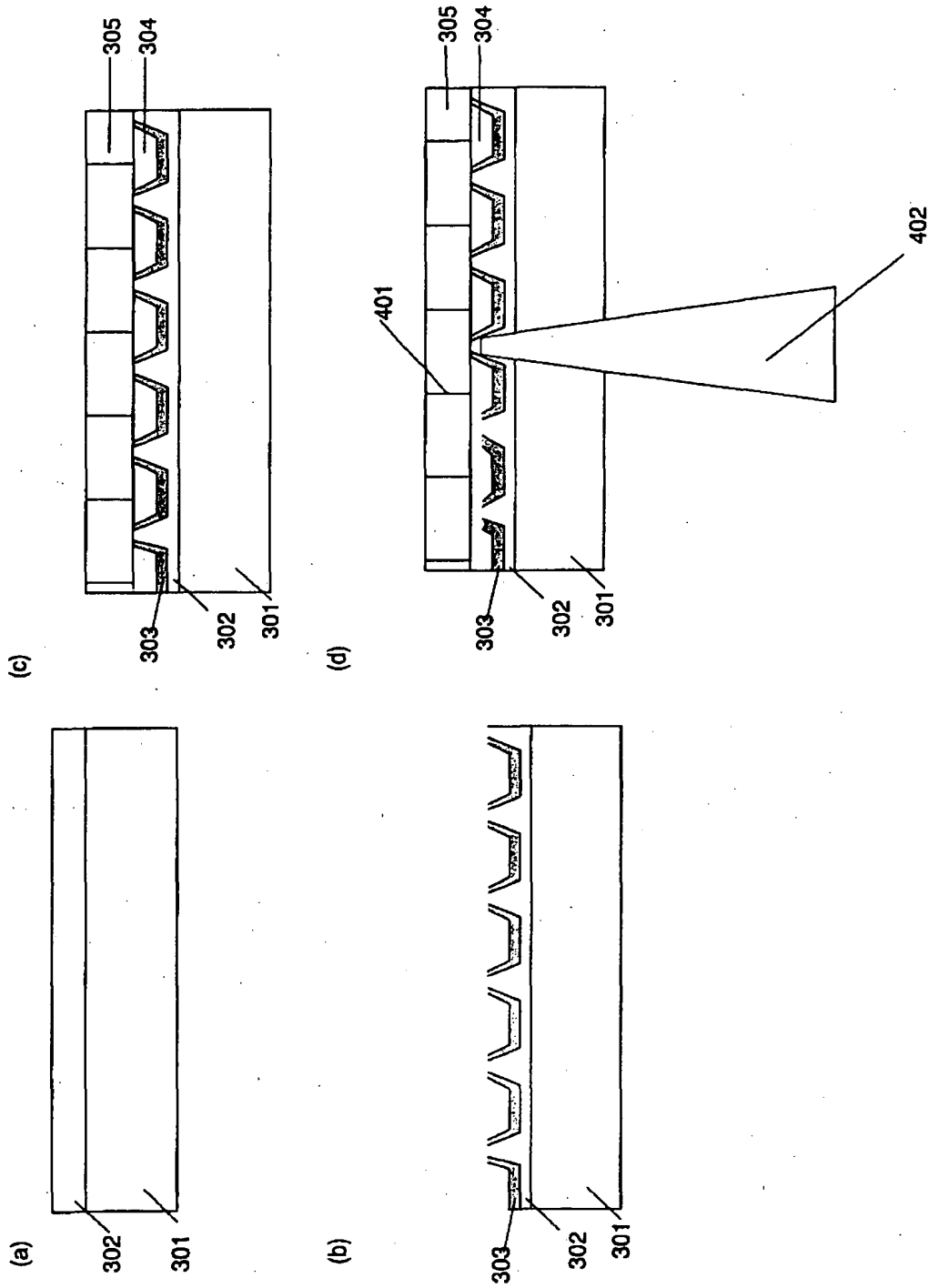




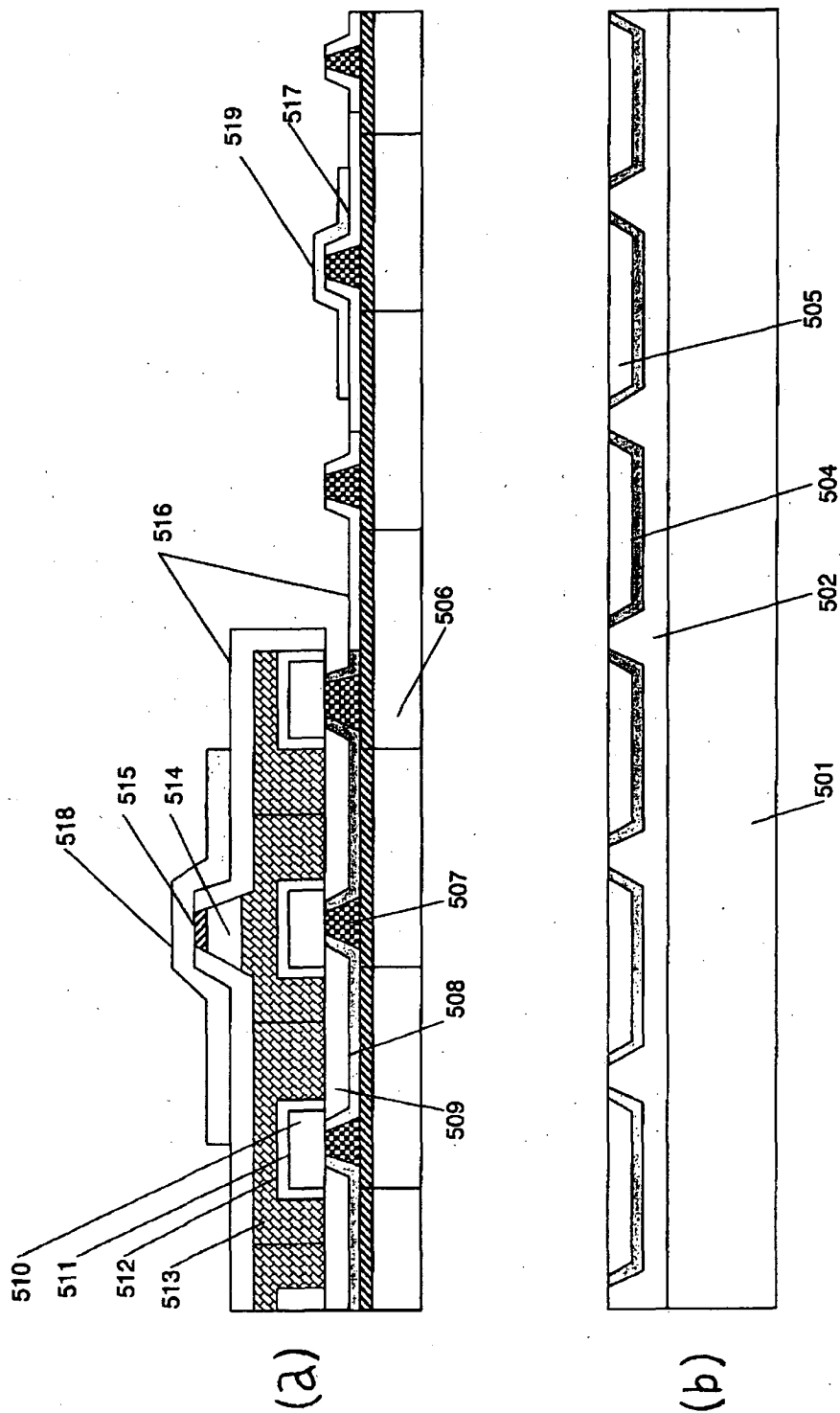
【図 3】



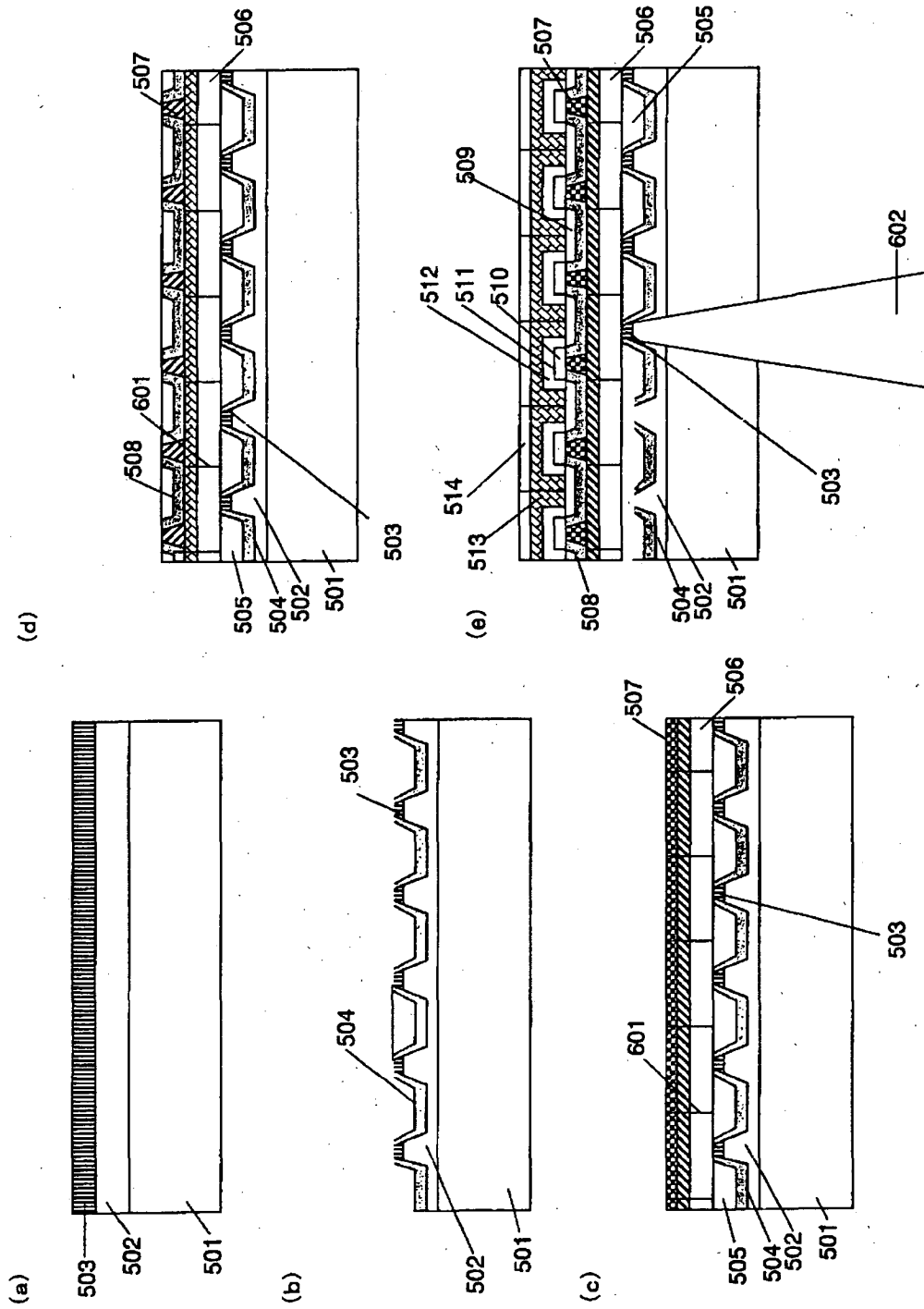
【図 4】



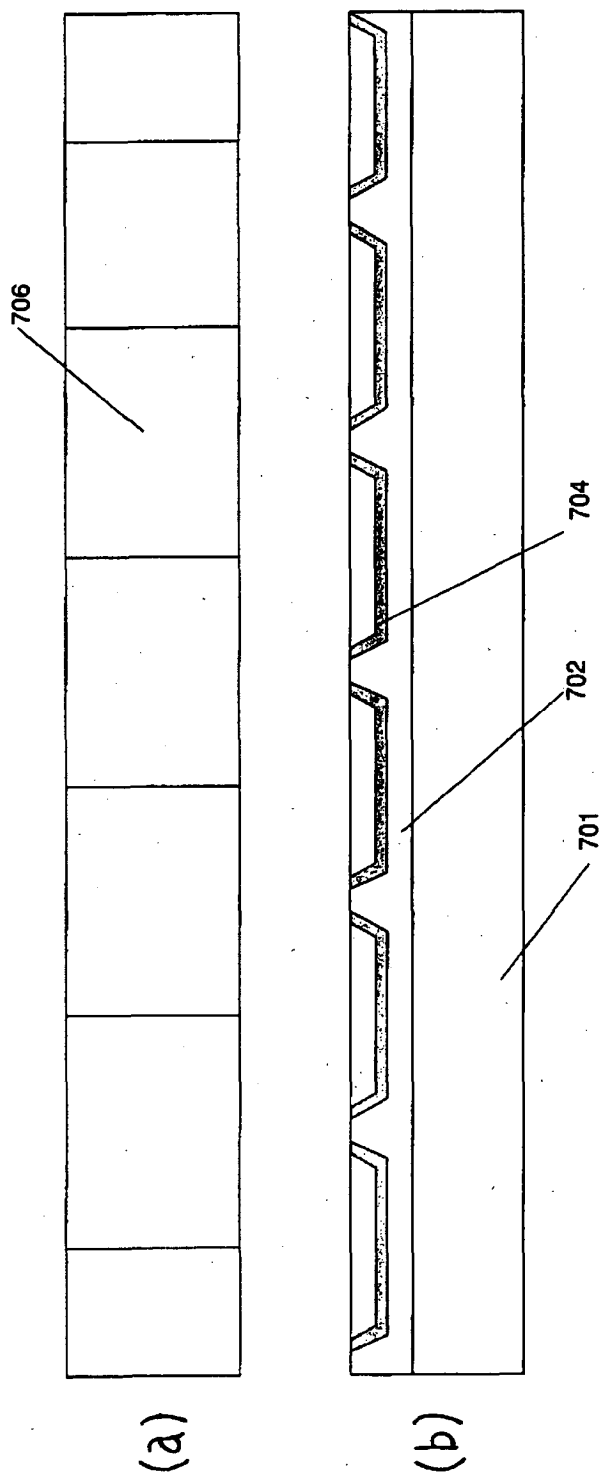
【図 5】



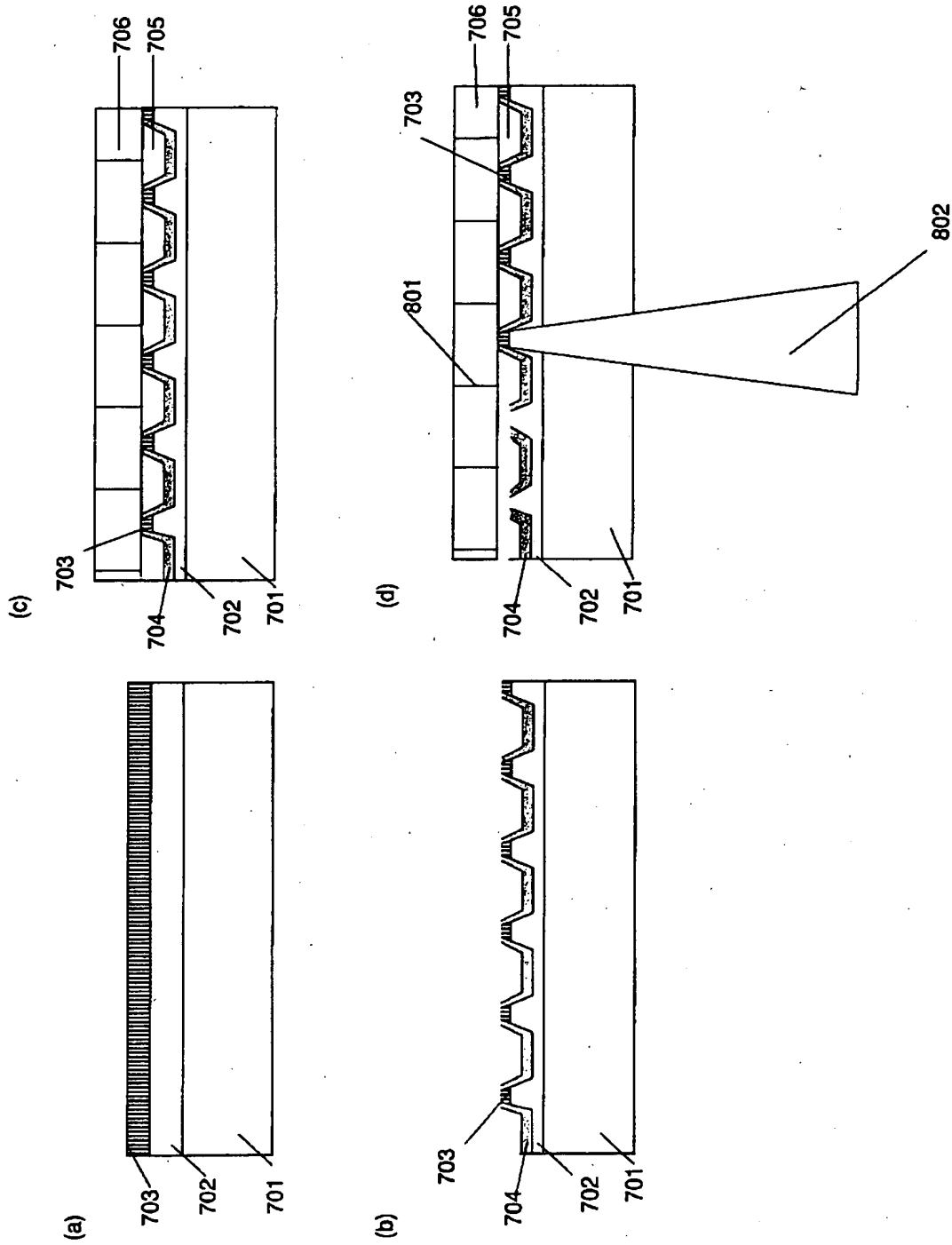
【図 6】



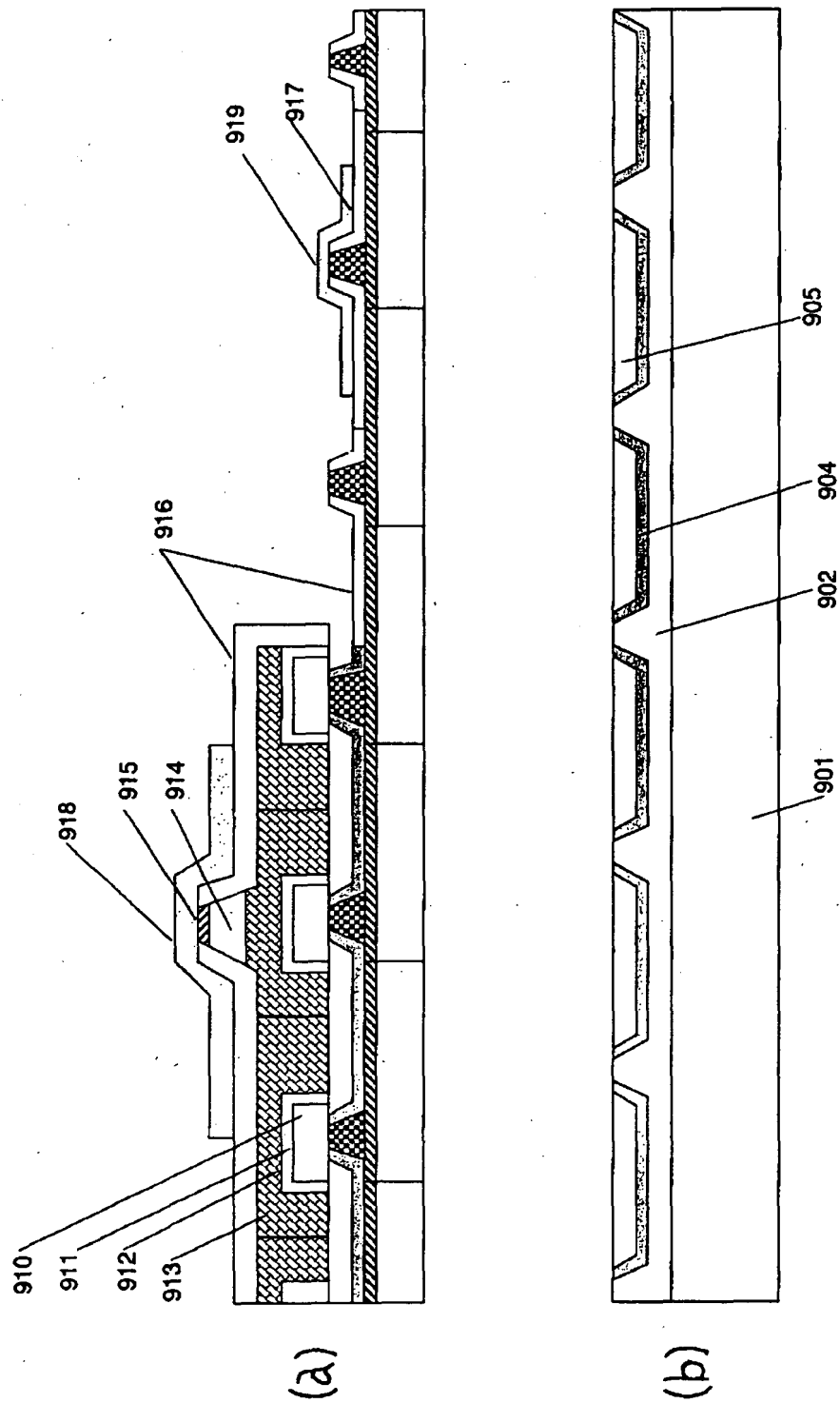
【図 7】



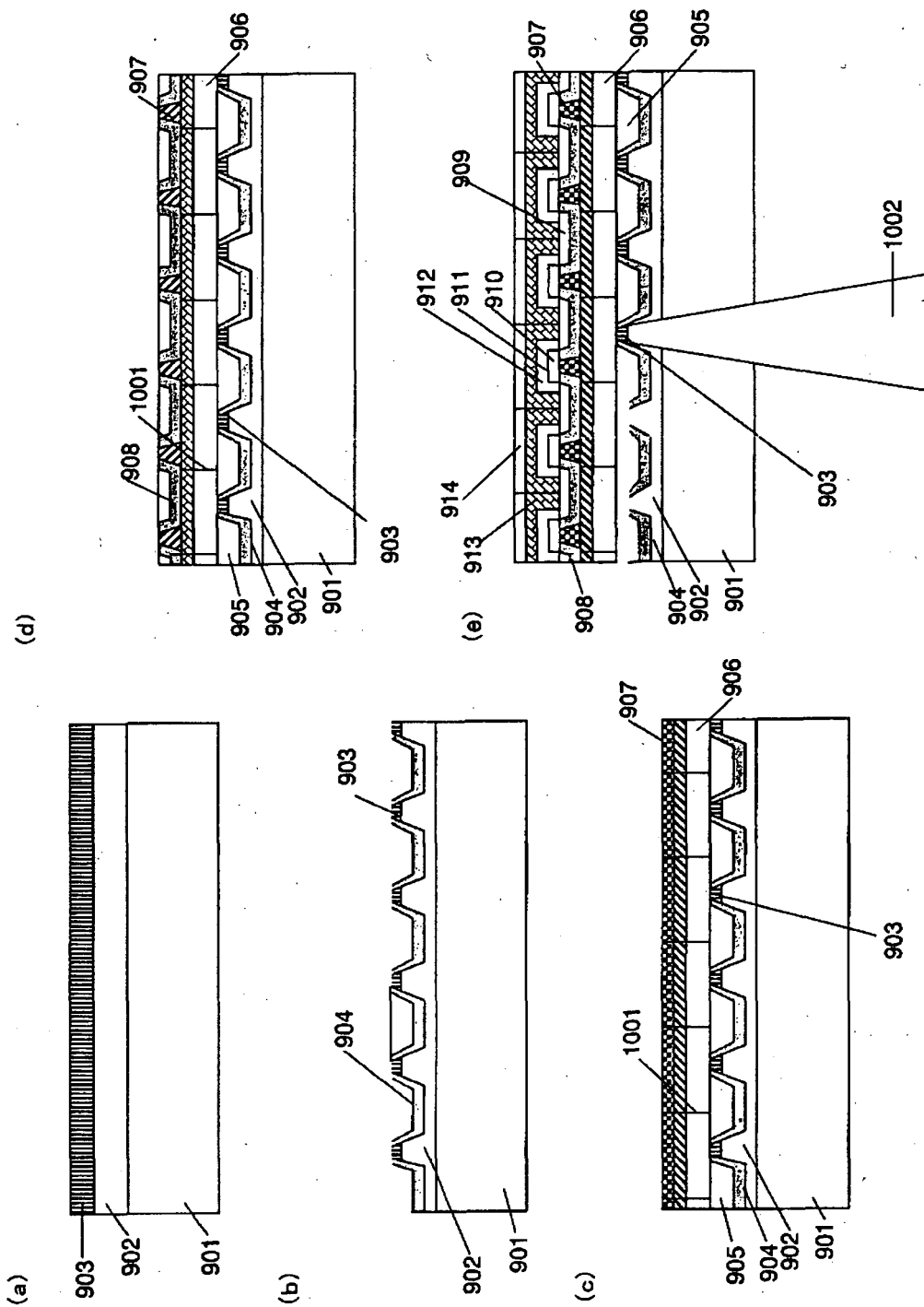
【図 8】



【図 9】

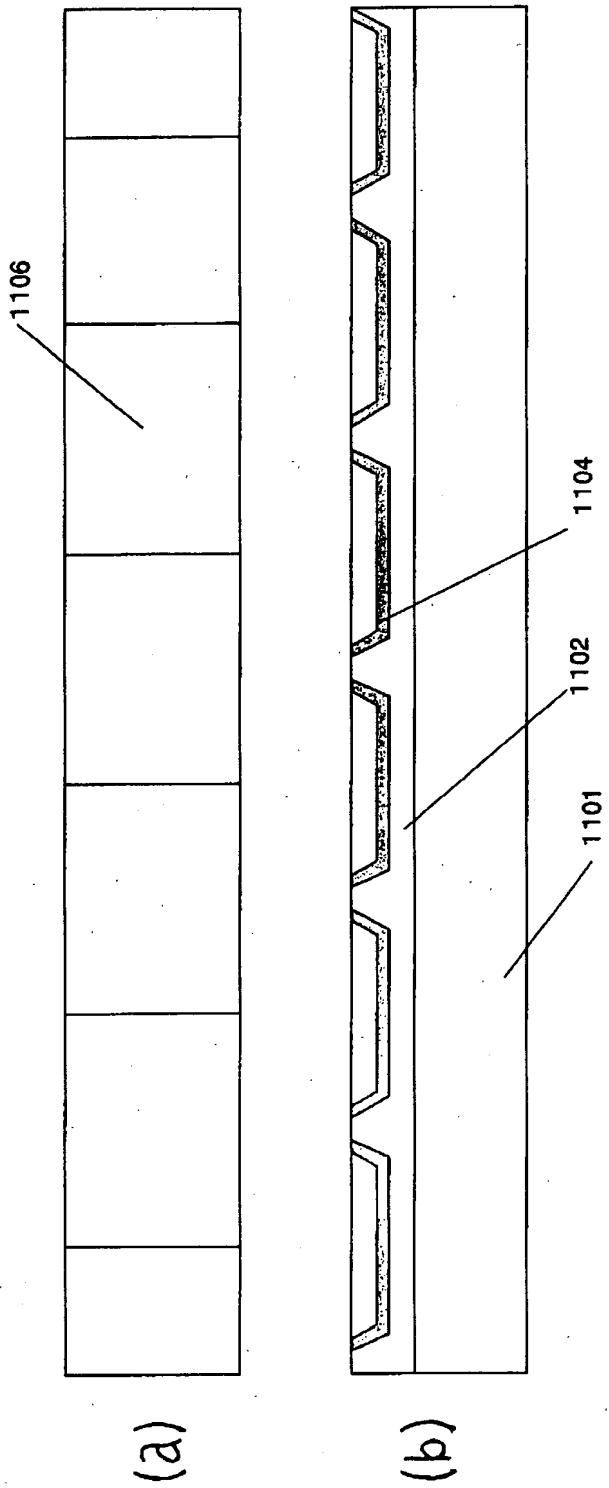


【図10】

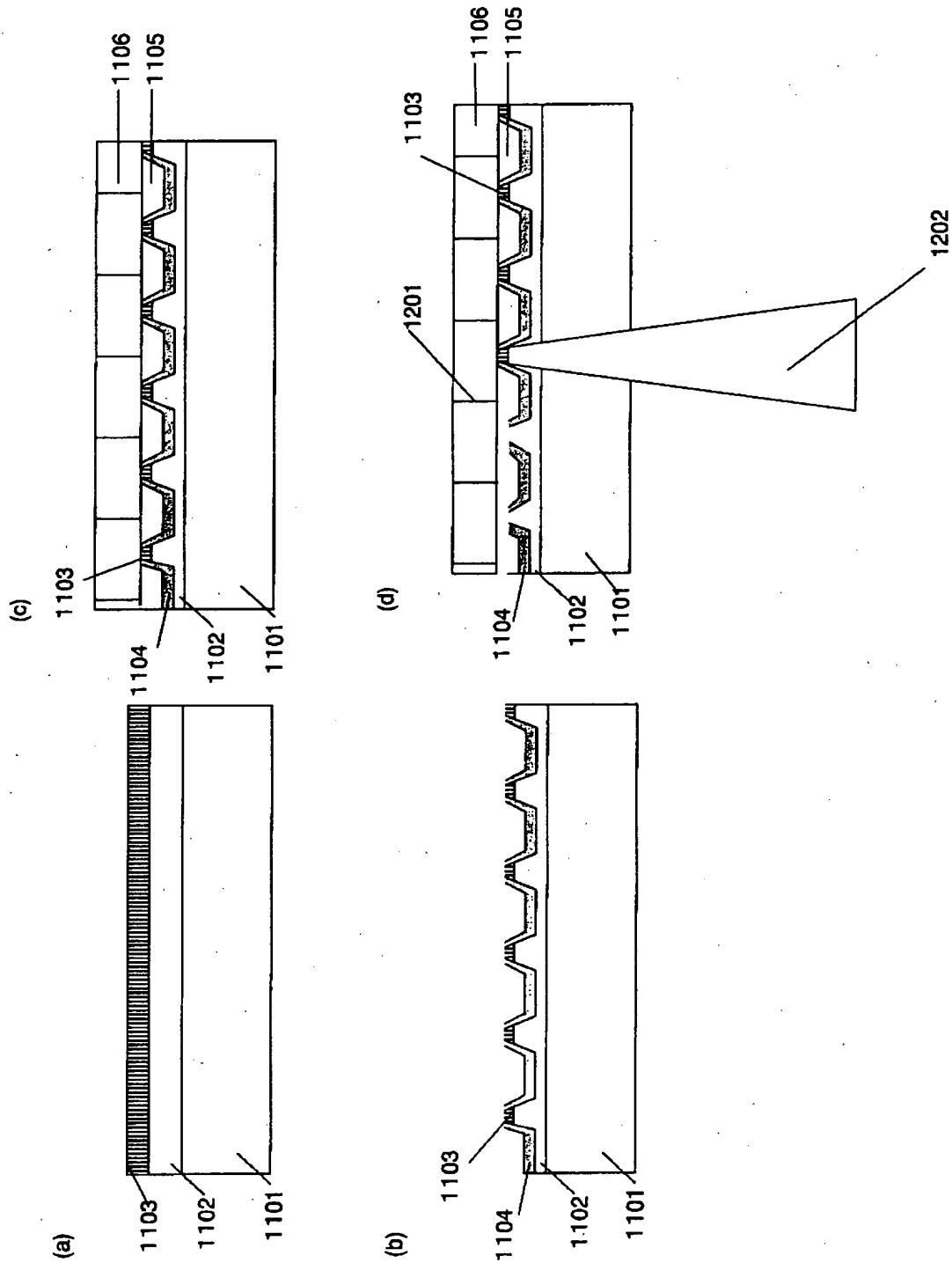




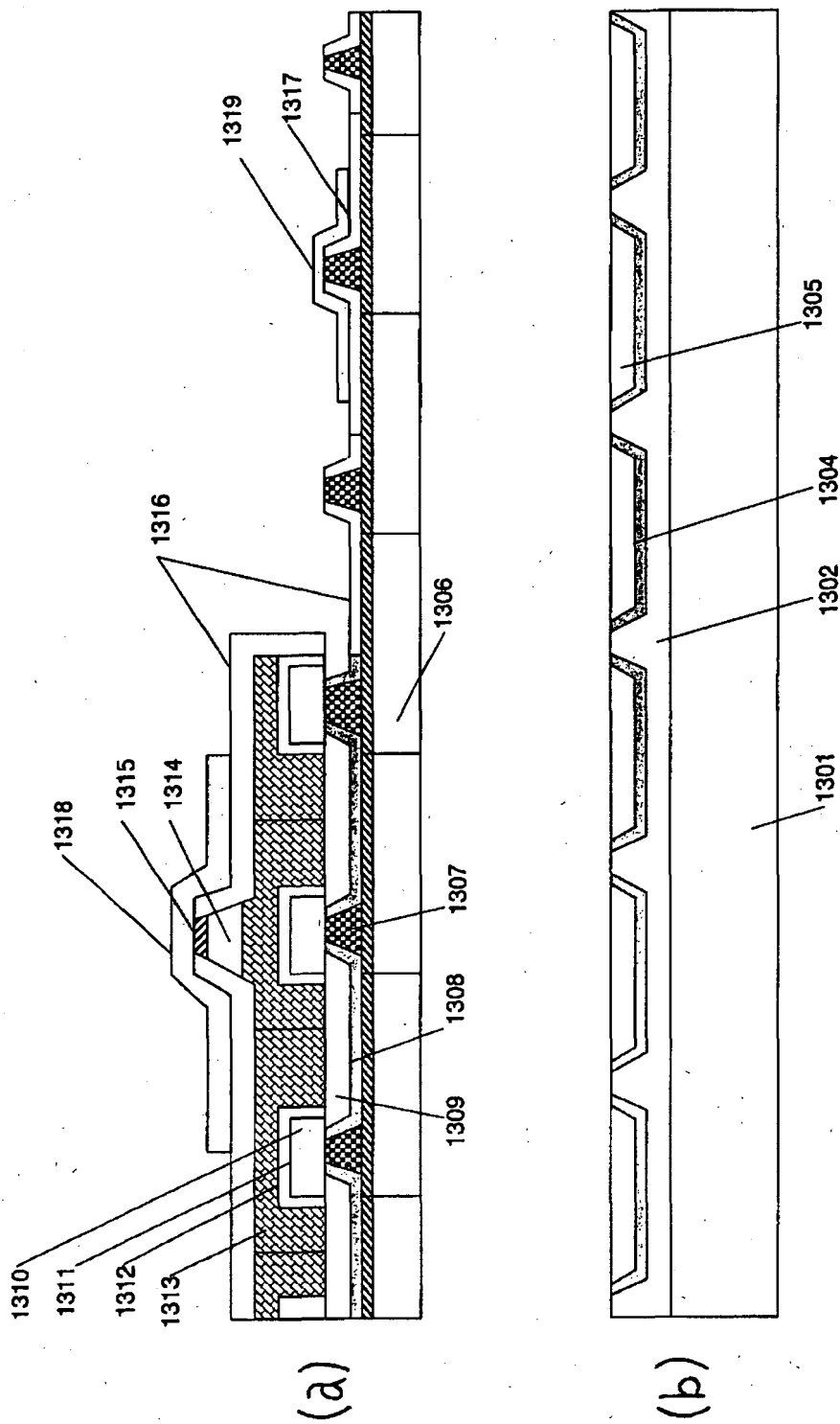
【図 1 1】



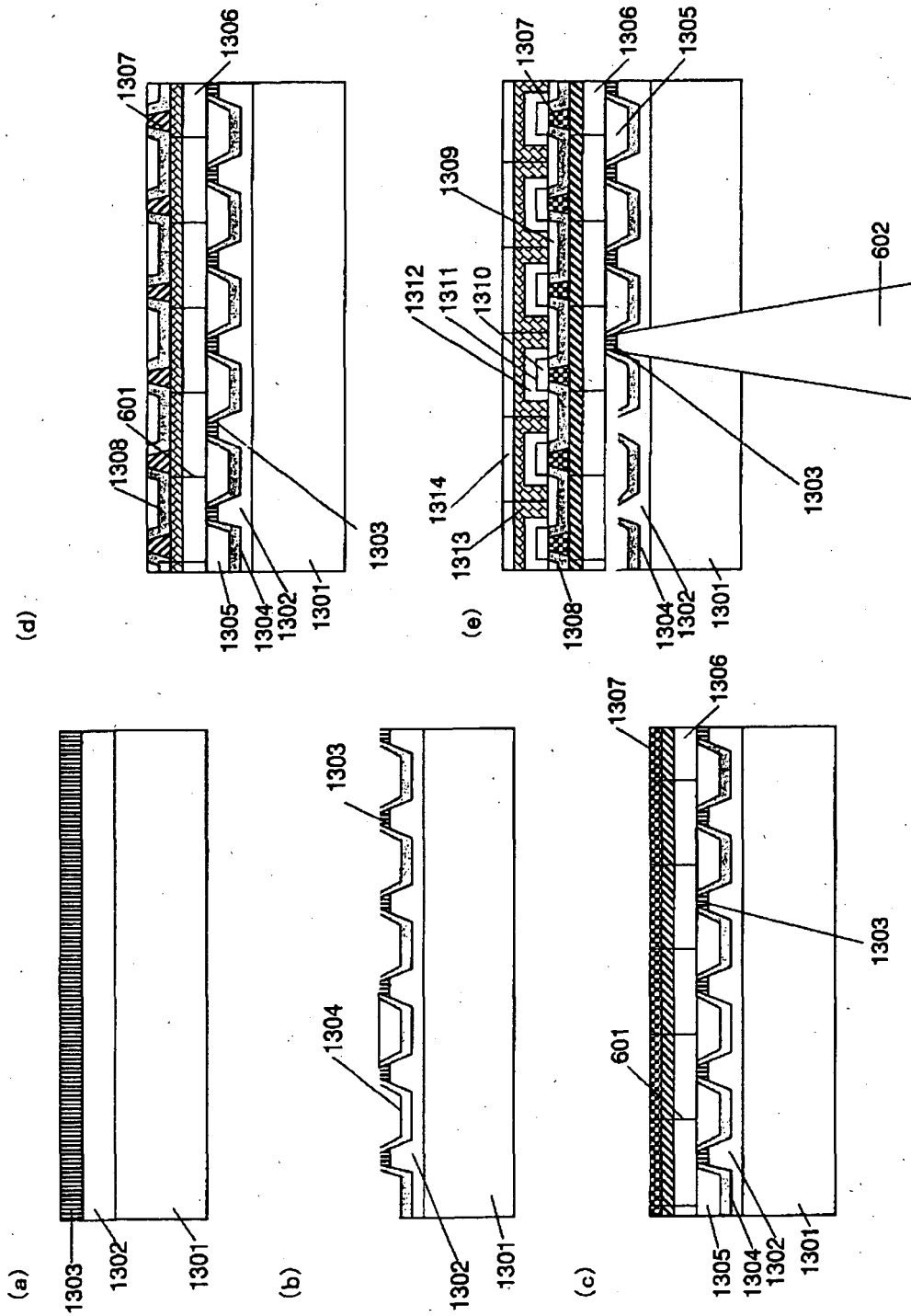
【図 12】



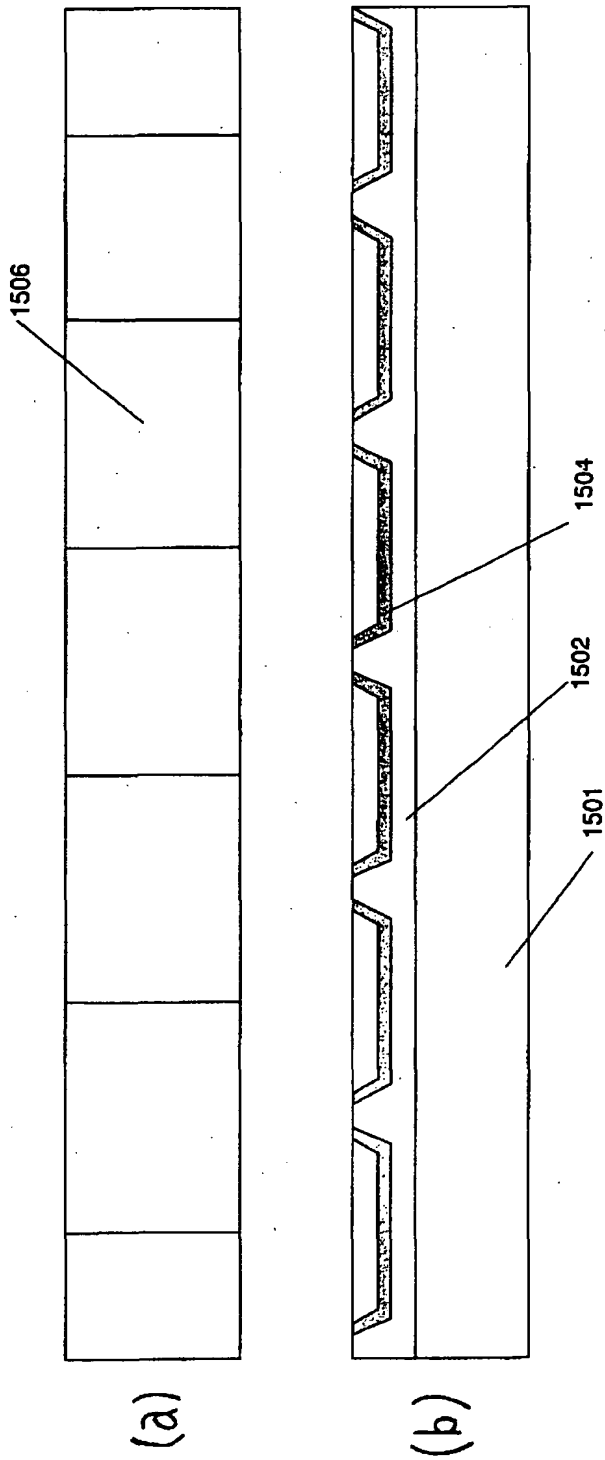
【図13】



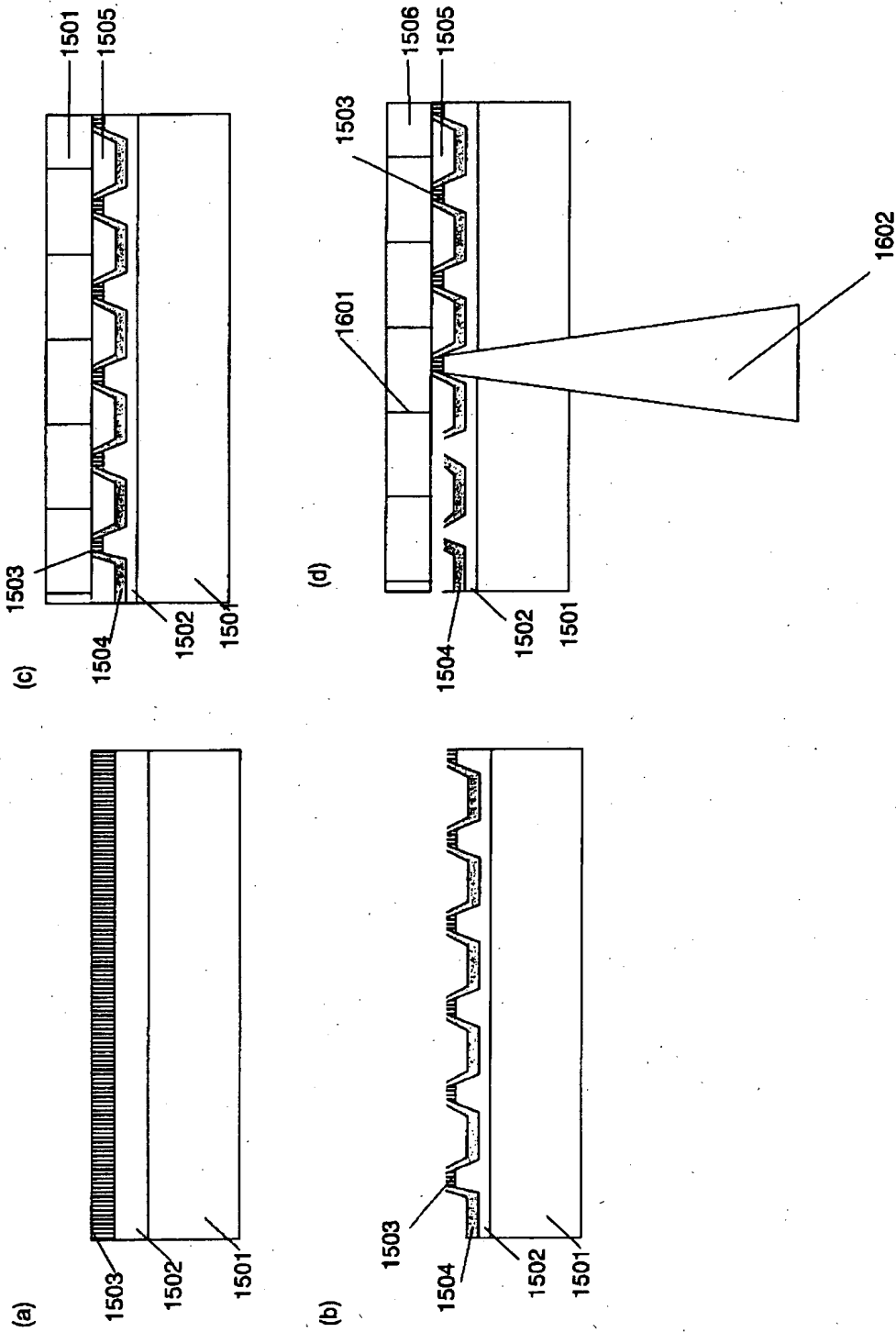
【図14】



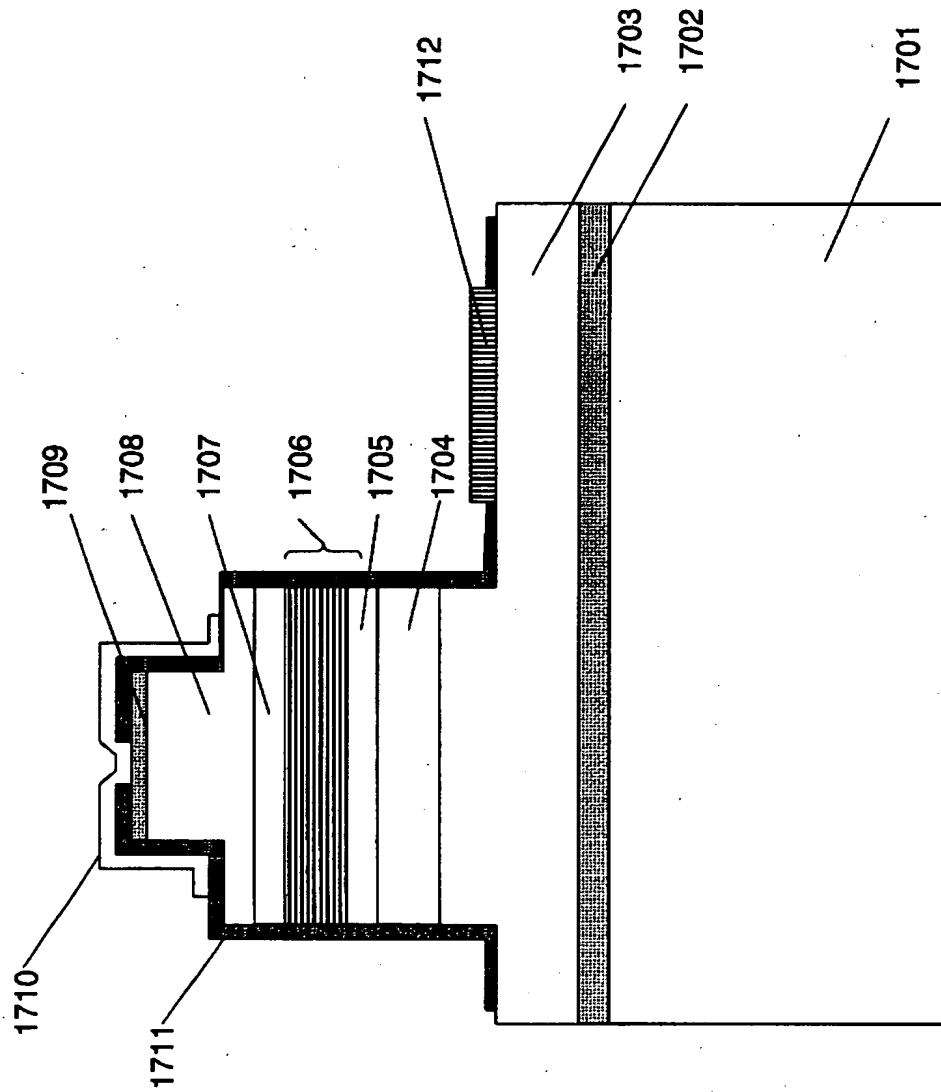
【図 1 5】



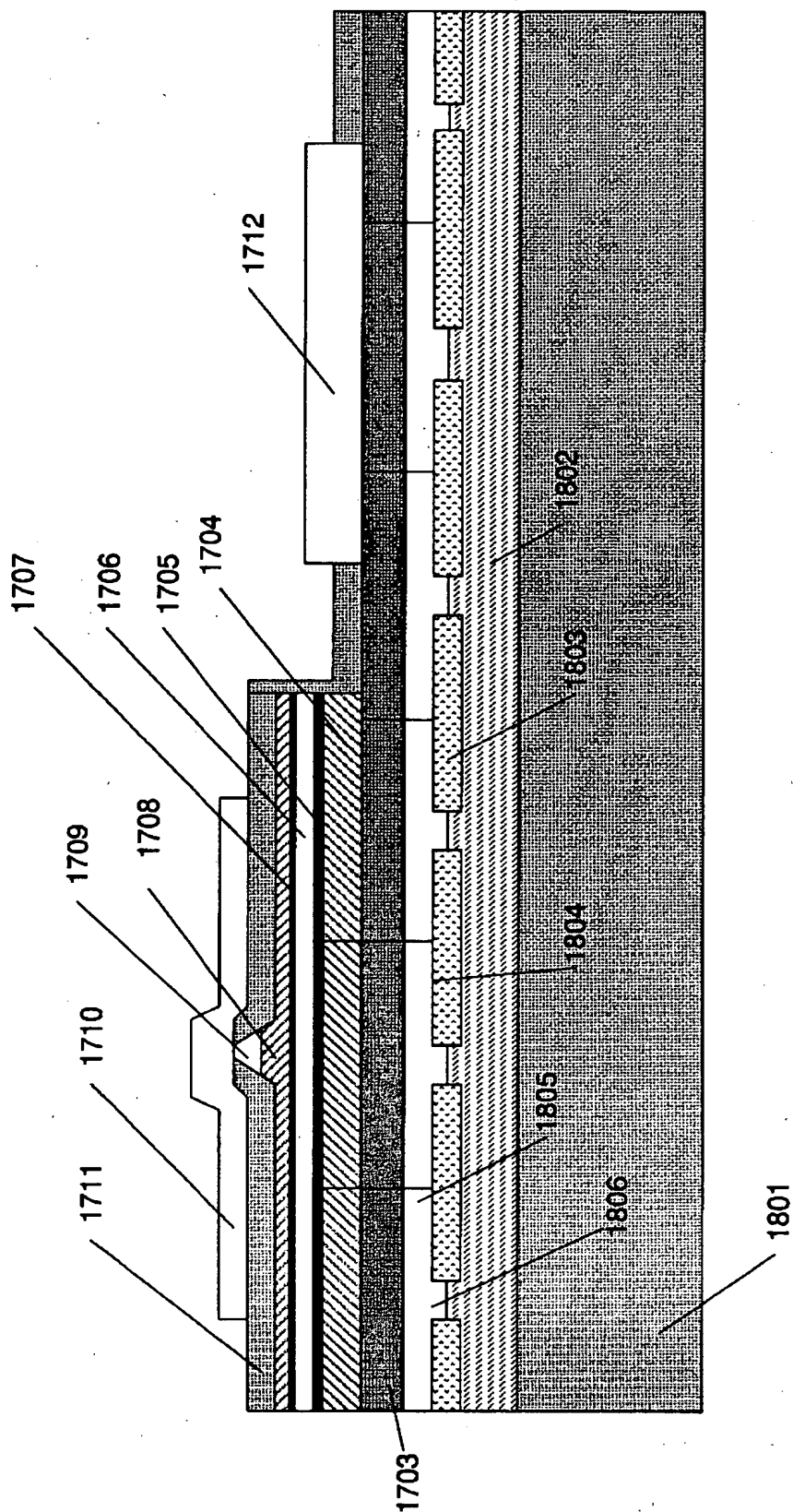
【図 16】



【図17】

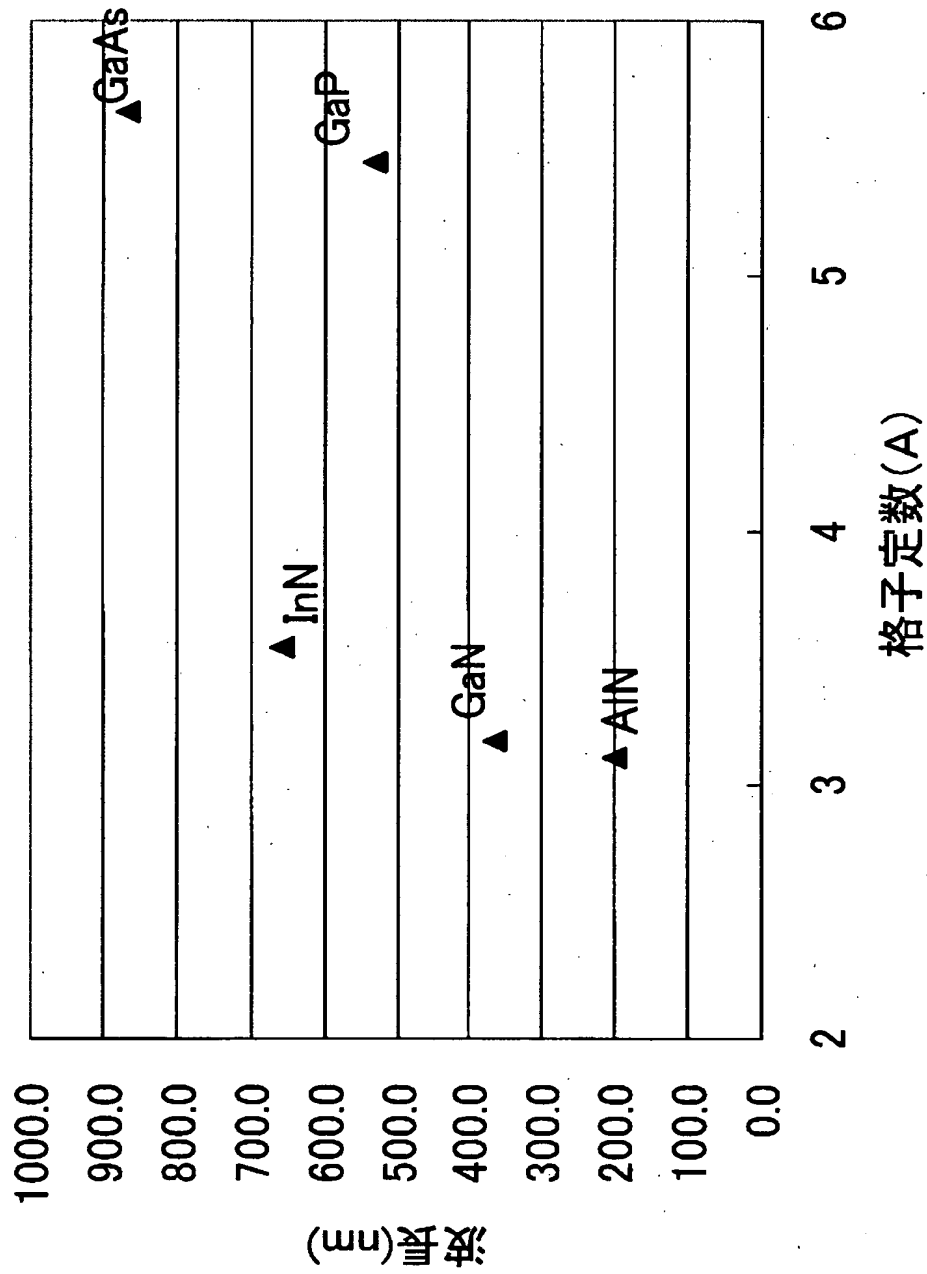


【図18】





【図 19】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 サファイア基板上に形成したGaN系結晶において、サファイア基板付近でGaN結晶を分離できることが示されている。しかしながら、サファイアとGaNの熱膨張係数差により、サファイア基板からGaN層を分離する際にGaN層にクラックが多数発生し、2インチウエハーレベルの大面積GaN基板が得られない。さらに、従来の方法では、サファイア基板とGaN層の分離の制御性に欠ける問題があった。

【解決手段】 基板分離層としてバンドギャップエネルギーの小さな半導体層をストライプ状に設けることでサファイア基板とGaN結晶との接合面積を減少させ、ストライプ部分を熱的アニール及びレーザー光照射することで、GaN結晶部分をレーザー光で劣化させることなく、より均一に基板と半導体層を分離することが可能となる。

【選択図】 図1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005821]

1. 変更年月日 1990年 8月28日  
[変更理由] 新規登録  
住 所 大阪府門真市大字門真1006番地  
氏 名 松下電器産業株式会社